



**М.Г. Журба, Ю.И. Вдовин,
Ж.М. Говорова, И.А. Лушкин**

ВОДОЗАБОРНО-ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И УСТРОЙСТВА

**Учебное пособие для студентов вузов,
обучающихся по специальности «водоснабжение,
водоотведение и строительные системы охраны
водных ресурсов»**

**Под редакцией доктора технических наук,
профессора М.Г. Журбы**

*Рекомендовано Учебно-методическим Объединением
Российской Федерации по строительному образованию
и Межведомственным научно техническим Советом РАН
и Госстроя Российской Федерации*

**Москва
Астрель • АСТ
2003**

УДК 628.11(075.8)

ББК 38.774я73

В62

Рецензент акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.,
заслуженный деятель науки РФ В.С. Дикаревский
(кафедра водоснабжения и водоотведения
Санкт-Петербургского государственного
университета путей сообщения)

**Компьютерный дизайн обложки —
дизайн-студия «Дикобраз»**

Подписано в печать с готовых диапозитивов 15.01.2003.

Формат 84×108¹/₃₂. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 30,24. Тираж 5100 экз. Заказ 758.

Общероссийский классификатор продукции
ОК-005-93, том 2: 953004 — литература научная
и производственная

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.02.953 Д.008286.12.02 от 09.12.2002

В62 **Волозаборно-очистные сооружения и устройства: Учеб.
пособие для студентов вузов / М.Г. Журба, Ю.И. Вловин;
Ж.М. Говорова, И.А. Лушкин; Под ред. М.Г. Журбы. —
М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство
АСТ», 2003. — 569, [7] с.: ил.**

ISBN 5-17-017190-0(ООО «Издательство АСТ»)

ISBN 5-271-06096-9(ООО «Издательство Астрель»)

В книге изложены материалы по технологиям и сооружениям водозабора из поверхностных и подземных вод с акцентом на их потенциальные водоочистные функции. Описаны применяемые в практике водоснабжения и орошения водоприемные ковши-отстойники и фильтрующе-оголовки, сетчатые и гидроциклонные установки, а также менее известные сооружения. Приведены данные об эффективности наливных водосмолов, каналов и биоплато с высшей водной растительностью: биореакторов с носителями прикрепленных микроорганизмов, размещаемых в русле водотоков и в приемных отделениях насосных станций первого подъема, а также волозаборно-очистных сооружений с плавающим фильтрующим слоем. Уделено внимание специфике создания и эксплуатации волозаборно-очистных сооружений в условиях сурового климата и вечной мерзлоты.

Для студентов вузов и аспирантов, инженерно-технических и научных работников, занятых исследованиями, проектированием, строительством и эксплуатацией систем водоснабжения, орошения и гидротехники.

УДК 628.11(075.8)

ББК 38.774я73

ISBN 5-17-017190-0

(ООО «Издательство АСТ»)

ISBN 5-271-06096-9

(ООО «Издательство Астрель»)

© ООО «Издательство Астрель», 2003

Оглавление

Предисловие	9
Список основных сокращений	12
Глава 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА	13
1.1. Водоочистные функции водозаборных комплексов.....	13
1.2. Классификация водозаборно-очистных сооружений и комплексов	20
Литература к гл. 1	25
Глава 2. ВОДОПРИЕМНЫЕ КОВШИ	27
2.1. Типы и условия применения водоприемных ковшей	27
2.2. Определение основных размеров водоприемных ковшей	31
2.3. Расчеты выпадения взвешенных наносов в водоприемных ковшах	37
Литература к гл. 2	44
Глава 3. НАЛИВНЫЕ ВОДОЕМЫ И ВОДОХРАНИЛИЩА	46
3.1. Назначение и область применения	46
3.2. Конструктивное устройство наливных водоемов и водозаборных сооружений	50
3.3. Улучшение качества воды в контролируемых водоемах	60
3.4. Специфика формирования и улучшения качества воды эвтрофированных водоемов	66
Литература к гл. 3	83

Глава 4. КАНАЛЫ И БИОПЛАТО С ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ	85
4.1. Конструкции водозаборно-очистных сооружений	85
4.2. Формирование качества воды в каналах	87
4.3. Роль высших водных растений и зоопланктона в улучшении качества воды	92
4.4. Влияние систем перекачки и транспортировки воды на ее качество	103
4.5. Очистка воды на биоплато	108
4.6. Обессоливание воды в прибрежных вегетационных емкостях	116
Литература к гл. 4	127

Глава 5. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРЕДОЧИСТКА ВОДЫ НА ОСНОВЕ ЕСТЕСТВЕННОГО БИОЦЕНОЗА И НОСИТЕЛЕЙ ИММОБИЛИЗОВАННОЙ МИКРОФЛОРЫ	130
5.1. Биоценоз водотоков и водоемов	130
5.2. Биохимические процессы улучшения качества воды	135
5.2.1. Минерализация	136
5.2.2. Биоседimentация и осветление воды	136
5.2.3. Биологическая детоксикация	138
5.2.4. Фотосинтетическая аэрация	139
5.3. Насадки для иммобилизованной микрофлоры	139
5.3.1. Материалы насадок	139
5.3.2. Выбор оптимальной насадки при очистке природных вод	141
5.4. Конструкции биореакторов	146
5.4.1. Биореакторы в водозаборном узле	147
5.4.2. Комбинированные сооружения «биореактор – фильтр»	149
5.5. Эффективность биологической предочистки поверхностных вод	154
5.5.1. Биопредочистка в реакторах с носителями типа «ВИЯ»	154
5.5.2. Эффективность биопредочистки в биореакторе с трехслойной капроновой насадкой	161

5.5.3. Влияние биопредочистки на снижение дозы хлора при первичном хлорировании воды	166
5.5.4. Определение продолжительности «зарядки» и периода полезной работы биореактора	169
5.5.5. Эффективность совместной очистки природных вод на сооружении «биореактор — контактный осветлитель»	171
Литература к гл. 5	176
Глава 6. ФИЛЬТРУЮЩИЕ ВОДОПРИЕМНИКИ	179
6.1. Схемы, классификация и конструктивное оформление водозаборов с фильтрующим водоприемом	181
6.2. Особенности отбора воды фильтрующими водоприемниками	190
6.2.1. Отбор воды из водотоков	190
6.2.2. Отбор воды из крупных водоемов	200
6.2.3. Отбор воды из малых водоемов (прудов)....	206
6.3. Основные закономерности и моделирование процессов фильтрования	213
6.4. Выбор типа и конструкций защитно-фильтрующих элементов	228
6.5. Защитно-барьерная и водоочистная эффективность фильтрующих водозаборов	236
6.5.1. Защитно-барьерные функции водозаборно-очистных устройств	236
6.5.2. Совместное удаление взвеси и водорослей при водоприеме	244
6.6. Восстановление проницаемости защитно-фильтрующих устройств водоприемников	257
Литература к гл. 6	264
Глава 7. СЕТЧАТЫЕ УСТАНОВКИ И УСТРОЙСТВА	269
7.1. Гидродинамические закономерности фильтрования воды через сетчатые полотна	269

7.2. Технологические закономерности процесса осветления воды и промывки полотен	279
7.3. Эффективность очистки воды на сетчатых установках	284
Литература к гл. 7	304
Глава 8. ГИДРОЦИКЛОННЫЕ УСТАНОВКИ	307
8.1. Область применения и назначение	307
8.2. Основные гидравлические и технологические закономерности водозаборно-очистных гидроциклонных установок	309
8.3. Гидроциклонные установки с вакуумным и напорно-вакуумным режимом работы	314
8.4. Напорные гидроциклонные установки	323
8.5. Комбинированные водозаборно-очистные устройства на базе гидроциклонов в системах мелиорации и сельскохозяйственного водоснабжения	332
Литература к гл. 8	335
Глава 9. СООРУЖЕНИЯ И УСТРОЙСТВА С ПЛАВАЮЩИМ ФИЛЬТРУЮЩИМ СЛОЕМ ...	336
9.1. Область применения и преимущества плавающих загрузок	336
9.2. Фильтрующие материалы и их свойства	337
9.3. Русловые водозаборно-очистные сооружения	358
9.4. Водоочистные устройства береговых водозаборов	376
9.5. Комбинированные водозаборно-очистные комплексы и станции заводского изготовления	383
9.6. Передвижные компактные установки	401
Литература к гл. 9	406
Глава 10. ВОДОЗАБОРНО-ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОРОШЕНИЯ	408
10.1. Характеристика качества воды в источниках орошения	408
10.2. Системы забора и очистки воды	423

10.3. Улучшение агробиологических качеств оросительной воды	434
10.4. Основы проектирования водозаборно-очистных сооружений и установок	440
10.5. Эксплуатация водозаборно-очистных сооружений и устройств	450
Литература к гл. 10	453
Глава 11. ПРЕОЧИСТКА И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОДОНОСНОМ ПЛАСТЕ ...	455
11.1. Фильтры водозаборных скважин и шахтных колодцев	455
11.2. Обезжелезивание воды в водоносном пласте	462
Литература к гл. 11	468
Глава 12. ВОДОЗАБОРНО-ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СУРОВОГО КЛИМАТА И ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ	469
12.1. Особенности режима источников водоснабжения	469
12.2. Закономерности взаимосвязи поверхностных и аллювиальных вод и формирования таликовых зон под водоисточниками	478
12.3. Совершенствование технологий водоприема и водообработки на Севере	485
12.4. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации водозаборно-очистных сооружений	491
12.5. Существующие водозаборно-очистные сооружения в зоне мерзлоты	497
12.6. Особенности фильтрующего водоприема в районах распространения вечномерзлых грунтов	499
12.7. Технологии забора и очистки воды из перемерзающих рек	505
12.8. Улучшение качества отбираемой воды	511
12.9. Защита водоприемно-очистных, водоотводящих и водосборных устройств от перемерзания	525
Литература к гл. 12	530

Глава 13. ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ ...	535
13.1. Типы инфильтрационных сооружений и область их применения	535
13.2. Искусственное пополнение запасов подземных вод	539
13.3. Горизонтальные и вертикальные водосборы	548
13.4. Лучевые подрусловые водозаборы	552
13.5. Инфильтрационные и запасные сооружения в системах сельскохозяйственного водоснабжения	565
Литература к гл. 13	567

ПРЕДИСЛОВИЕ

Стабильное обеспечение населения, промышленности и сельского хозяйства высококачественной питьевой водой требует дальнейшего совершенствования систем водоснабжения. В этих условиях все большее значение приобретают вопросы интенсификации работы водопроводных сооружений, повышения их технической надежности и экономичности без нанесения ущерба природе.

Водозаборные и очистные сооружения являются одними из важнейших элементов систем водоснабжения. От их конструктивного решения и условий эксплуатации во многом зависят надежность и технико-экономические показатели систем водообеспечения в целом.

Существующие конструкции водозаборов из поверхностных источников имеют известные недостатки: взвешенные вещества из рек, каналов и водохранилищ транспортируются с водой в береговые колодцы и приемные отделения насосных станций; выпавшие в самотечных трубах, оголовках и береговых колодцах крупные грубодисперсные взвеси и накапливаемый осадок необходимо периодически удалять, а фильтрующие решетки и сетки на водоприемных окнах промывать от загрязнений (использование существующих стандартных решеток и сеток на водоприемных оголовках и в колодцах лишь частично обеспечивает защиту от попадания в них наносов, шуга, водорослей, рыбы). Все это усложняет работу водоприемников, увеличивая затраты на их эксплуатацию. Необходимость очистки вод поверхностных источников требует строительства громоздких и материалоемких отстойников, осветлителей, фильтров. Для обезвоживания и

утилизации осадка, образующегося при очистке воды, требуются дополнительные технологические узлы, энерго- и трудозатраты.

Традиционно в системах водоснабжения водозаборные и очистные сооружения рассматривают и проектируют как самостоятельные крупные блоки (подсистемы) единых водопроводов. Они имеют четко выраженные технологические функции. Между тем в числе общих требований, предъявляемых к водозаборам централизованных и локальных систем водоснабжения, одним из важных является обеспечение максимально возможной защитно-барьерной функции водоприемников от попадания в отделения береговых колодцев и насосных станций первого подъема крупных плавающих предметов, грубодисперсных взвесей, наносов, шуги, донного льда, мальков рыб, зоо- и фитопланктона и др. Чем защищеннее от перечисленных веществ и загрязнителей воды будут водоприемные устройства водозаборов, тем стабильнее и надежнее окажется работа самих водозаборных комплексов и насосных станций. При этом качественно лучше станут условия эксплуатации водозаборов; снизятся грязевая нагрузка на водоочистные сооружения и степень обрастания и засорения водоводов, транспортирующих неочищенную воду; улучшатся эксплуатационно-энергетические параметры насосов. Совершенствование защитных функций водоприемных устройств и сооружений, способствующее улучшению качества воды, — важное и перспективное направление дальнейшего развития и повышения надежности любых систем водоснабжения.

Сложность решения такой задачи состоит в несоответствии оптимальных скоростей втекания воды в водоприемные оголовки и окна береговых колодцев (обычно в пределах 0,5...1,5 м/с) и допустимых удельных гидравлических нагрузок на водоочистные элементы в значительной степени влияет на эффект очистки воды. Оптимальное соотношение гидравлических нагрузок на разные по функциональному назначению элементы водозаборов напрямую связано с качеством воды в конкретном водисточнике и требованиями потребителей к степени ее очистки.

Для производственного водоснабжения часто достаточно «грубой» (предварительной) очистки поверхностных вод. Смещение акцента на придание водозаборным сооружениям более высоких защитно-барьерных и водоочистных функций позволило авторам ввести термин «водозаборно-очистные» сооружения.

Предлагаемое учебное пособие ставит своей целью ознакомить читателей с техническими решениями, конструктивными особенностями оформления и эффективностью разных по физико-химической, биологической и технологической сути процессов, протекающих в водозаборно-очистных сооружениях комплексного назначения.

Гл. 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13 написаны д-ром техн. наук, проф. М.Г. Журбой, гл. 2, 6, 12 написаны д-ром техн. наук, проф. Ю.И. Вдовиным, п. 5.3, 5.4, 5.5 и гл. 9 написаны совместно М.Г. Журбой и Ж.М. Говоровой, п. 6.2, 6.3, 12.2, 12.4 – совместно с Ю.И. Вдовиным и И.А. Лушкиным.

Авторы приносят особую признательность акад. РААСН, д-ру техн. наук, проф., заслуженному деятелю науки РФ В.С. Дикаревскому за ценные замечания, сделанные им при рецензировании этого учебного пособия. Авторы благодарят также кандидатов техн. наук Е.А. Мезеневу, М.В. Орлова, С.М. Чудновского и инженеров Е.А. Кузину, Л.В. Боронину, Г.М. Мартыненко за помощь в подготовке этой книги.

Предложения и пожелания читателей будут приняты авторами с благодарностью и учтены в будущей работе.

Список основных сокращений

- БПК** – биологическая потребность кислорода
- ВВ** – взвешенные вещества
- ВВР** – высшие водные растения
- ГАУ** – гранулированный активированный уголь
- ГЦУ** – гидроциклонная установка
- КО** – контактный осветлитель
- ООУ** – общий органический углерод
- ОСВ** – осветлитель с взвешенным осадком
- ПВОС** – плавучий водозабор-очиститель
- ПО** – перманганатная окисляемость
- РЗУ** – рыбозащитное устройство
- СМО** – система микроорошения
- СПАВ** – синтетическое поверхностно-активное вещество
- УКВ** – улучшение качества воды
- ФПЗ** – фильтры с плавающей загрузкой
- ХП** – хлоропоглощаемость

ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

1.1. Водоочистные функции водозаборных комплексов

Качественный состав вод поверхностных водоисточников, генезис и физико-химические свойства подземных вод определяются в основном гидрологическими и геологическими условиями формирования русел водотоков и подземных водоносных горизонтов, климатическими факторами и степенью антропогенного воздействия на них.

Поверхностные водотоки и водоемы, являющиеся источниками централизованного и локального водоснабжения, загрязнены органическими и неорганическими примесями и болезнетворными микробами. Эти загрязнения главным образом обусловлены сбросом в них неочищенных или недостаточно очищенных бытовых и промышленных сточных вод, смывом ливневых и талых вод с поверхностей водосборов (городов, поселков, сельскохозяйственных угодий), выпадением загрязненных атмосферных осадков.

В последние годы, несмотря на спад производства, попадание в поверхностные воды ингредиентов антропогенного происхождения продолжается. Поступающие в природные воды органические вещества и биогенные элементы (фосфор, азот и др.) служат питательным субстратом для развития водных организмов. Интенсивное вторичное биологическое загрязнение природных вод обуславливает «цветение» водоемов и их эвтрофирование.

Во взвешенном состоянии в поверхностных водах содержатся нерастворимые и малорастворимые вещества: частицы глины, песка, лесса, илистых веществ, карбонатных

соединений, водных оксидов алюминия, железа, высокомолекулярных органических примесей гумусового происхождения, водорослей, травы, листьев, коры деревьев. Концентрация взвешенных веществ в водах поверхностных источников колеблется в широких пределах: от 2...3 до 50 мг/л в реках и озерах Сибири, Северо-Восточного и Северо-Западного регионов СНГ (реки Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Индигирка, Колыма); от 50 до 500 мг/л – в поверхностных водах средних широт и от 500 до 1500 мг/л и более – в южных реках (реки Амударья, Кура, Кубань). Содержание взвешенных веществ изменяется по сезонам года и зависит от расхода воды рек. Примеры характеристик наносов в некоторых водоисточниках приведены в табл. 1.1, 1.2 [3...8].

Количество, внутригодовое распределение взвешенных наносов и их крупность в водах поверхностных источников определяются водным режимом рек, гидравликой потока, географическим положением водосборного бассейна, его климатическими, геологическими и почвенно-растительными особенностями. По крупности взвешенных наносов реки разделяются на четыре категории (см. табл. 1.2). Частицы размером 50 мкм и более составляют 10...60 % общего среднего содержания взвешенных веществ (C_0 , г/м³). Причем значение C_0 увеличивается в поперечном сечении реки от поверхности ко дну за счет крупных фракций [8]. Это приводит к тому, что при работе русловых водозаборов и нижних ярусов береговых водозаборных колодцев на сооружения водоочистки и в наносы вместе с водой вовлекаются крупные взвешенные вещества с размером частиц 100 мкм и более.

Примеси поверхностных вод, обуславливающие ее мутность, образуют с водой системы с различной степенью кинетической и агрегативной устойчивости. Процесс полного выделения гетерофазных примесей из воды протекает медленно и требует больших площадей очистных сооружений. В практике водоочистки для удаления из воды грубодисперсной взвеси (размер частиц 0,01...1,0 мм) применяют безреагентное осветление воды в водоприемных котлах и отстойниках (эффект осветления достигает 60...70 %).

Таблица 1.1

Расход и характеристика наносов рек в некоторых регионах России

Водосточник, створ, (номер поста)	Расход воды, м ³ /с	Диаметр частиц, мм						Средне- годовой расход воды, м ³ /с	Средне- годовая мутность, г/м ³		
		1... 0,5		0,1... 0,05		0,005... 0,001				Не менее 0,001	
		0,5... 0,2	0,2... 0,1	0,1... 0,05	0,05... 0,01	0,01... 0,005	0,005... 0,001				
Северо-Западный регион РФ											
Среднее содержание частиц, %											
р. Онега, д. Налпорожский Погост (1)	283	—	2	6,1	18,4	51	21,5	1	—	86,1	—
р. Ухта, д. Еремино (10)	55	—	1,6	12,9	32,3	40,7	11,3	1,2	—	4,87	2,5
р. Кубена, д. Кубинская (50)	535	—	0,8	6,9	50	22,7	19	0,6	—	37,4	8,6
	—	1	42,5	27	15	11,3	3,1	0,1	—	—	8,1
р. Луза, д. Красавино (88)	1360	1,7	13,4	10	10,8	10,4	53,7	—	—	123	32
р. Вишера, д. Лунь (110)	1050	—	9,4	29,7	21,9	27,7	10,1	1,2	—	80,7	24
	1010	—	—	2,8	51,4	26,7	18,9	0,2	—	57,6	30
	857	—	2	2	49	35,7	11,3	—	—	67,9	5,9

Водосточник, створ, (номер люка)	Расход воды, м ³ /с	Диаметр частиц, мм								Средне- годовой расход воды, м ³ /с	Средне- годовая мутность, г/м ³
		1... 0,5	0,5... 0,2	0,2... 0,1	0,1... 0,05	0,05... 0,01	0,01... 0,005	0,005... 0,001	Не менее 0,001		
		Средняя полоса Европейской части РФ									
Среднее содержание частиц, %											
р. Кострома, Буй (ниже р. Велсы) (136)	1260	0,1	6,5	40,3	20,8	4,1	5,6	9,1	13,5	76,8	54
р. Ока, Калуга	1950	0,2	0,1	0,6	9,2	42,9	16,7	20,6	9,7	182	37
	3080	0,4	0,8	2,7	8,7	24,3	14,6	31,2	12,3	289	87
р. Москва, Звенигород (240)	615	0,3	12,9	17,3	13,5	31,2	6,8	8,4	9,6	42,5	45
	67	0,6	33,1	17,3	11	24,6	14,1	7,3	22	2,85	39
р. Руза, д. Красное Село (249)	—	0,7	33,3	14,2	8,6	24	0,1	9,8	9,3	—	—
р. Челновая, д. Пудовкино (324)	14,9	0,3	1,7	7,9	16,4	39,7	10	15,5	8,5	1,28	37
р. Сура, с. Кадышево (377)	153	1,6	16,5	14	5,7	13,1	18,8	22,9	7,4	137	200

Таблица 1.2.

Классификация наносов по фракциям в реках стран СНГ, %

Категория реки	Процент фракций наносов менее 50 мкм	Название реки
I	90	Ока, Белая, Дон, Урал, Обь
II	90...75	Чусовая, Тура, верховья рек Тобола, Уфы, Белой, Урала, Кубани, Терека, низовья рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи
III	75...50	Волга, Кама, Вятка, Воронеж, Хопер, Сулак, Зeya, Тобол, Ишим
IV	50	Ангара, Барнаулка, Большая и Малая Алматинка, реки бассейнов рек Нарын и Вахш, верхняя часть бассейна р. Куры

микропроцеживание на микрофильтрах (40...60 %), фильтрование через крупнозернистую загрузку из щебня, гравия, песка и других фильтрующих материалов (60...80 %) [1, 10, 11]. Как правило, существующие системы водоснабжения включают в свой состав отдельно расположенные водозаборные и очистные сооружения. К настоящему времени функции водозаборных и очистных сооружений разграничены.

Водозаборы предназначены для забора расчетного расхода воды и защиты систем водоснабжения от попадания с водой плавающих предметов, планктона, водорослей, рыбы, крупных наносов. Требуемое качество воды для разных потребителей достигается, как правило, на специальных очистных сооружениях. Это объясняется огромными объемами водопотребления (до 1 млн м³/сут и более в крупных городах) и нестабильностью качества воды поверхностных источников по сезонам года и даже в течение суток. При таком разграничении функций сооружений крупная взвесь (песок, ил, глина) с размерами частиц 0,001...1 мм, проходя через сетки (с размером

обычно 2 · 2 мм) водозаборных колодцев, приводит к абразивному износу насосов и трубопроводов. Часть взвеси выпадает в осадок в береговых колодцах, вызывая необходимость периодической чистки колодцев и самотечных линий водозаборов. Основная же часть грубодисперсных взвешенных веществ задерживается в отстойниках станций очистки воды. Минимальный размер частиц, задерживаемых в отстойниках, обычно составляет 5...50 мкм ($u = 0,08...0,15$ мм/с).

Требуемые объемы зоны накопления осадка в отстойниках водоочистных станций зависят от концентрации взвешенных веществ в исходной воде и времени отстаивания. Количество воды, необходимой для удаления накопившегося за определенный период осадка из отстойника, находится в прямой зависимости от количества этого осадка и его физико-химических свойств и составляет в среднем, по данным опыта эксплуатации, 1,5...3 % общей производительности станции [9, 10, 12].

Результаты расчета объема зон накопления осадка W_{oc} и расхода промывной воды $Q_{пр}$ на удаление осадка на станциях различной производительности показывают, что предварительное удаление взвешенных веществ из исходной воды непосредственно в водоисточнике позволяет не только увеличить производительность станций водоочистки, но и сократить эксплуатационные затраты (рисунок).

Взвешенные вещества, находящиеся в водотоках, в большинстве случаев являются экологически безопасными и играют важную роль в биологических и других естественных процессах, происходящих в водоемах. При удалении этих веществ из воды реагентными методами образуется экологически вредный осадок. Так, для среднего города с числом жителей в пределах 200 тыс. человек при суточной производительности водоочистной станции 100 тыс. м³/сут образуется до 13 т осадка, а за год ≈ 4745 т. Этот осадок требует обработки, утилизации или захоронения. Несмотря на то что в настоящее время разработан ряд методов по обработке и утилизации осадков природных вод [9, 12] (уплотнение,

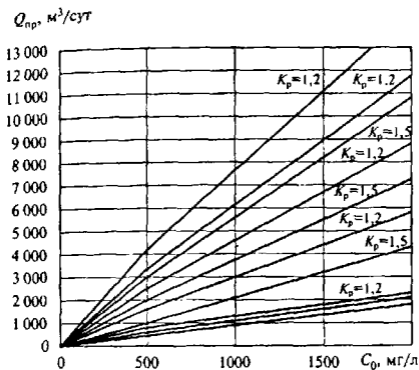


Рис. 1.1. Зависимость расхода промывной воды $Q_{пр}$ от концентрации взвешенных веществ C_0 в исходной воде (K_p — коэффициент разбавления)

обезвоживание в естественных и искусственных условиях, кислотная обработка, искусственное замораживание и оттаивание и др.), проблема утилизации осадка на практике остается в большинстве случаев нерешенной. На многих водочистных станциях осадок с промывными водами сбрасывается в водоисточники, существенно увеличивая загрязненность последних.

Другая проблема водозабора — обеспечение экономичности его работы при надлежащей защите от попадания мальков рыб в приемные камеры насосных станций первого подъема и в последующем — на очистные сооружения. В частности, попадая в водозаборные сооружения, мальки рыб забивают сетки, водоподъемные устройства и, погибая уже на входе в очистные сооружения, ухудшают качество воды. Кроме того, гибель в водозаборах значительного количества мальков рыб наносит огромный ущерб рыбному хозяйству. Например, на по-

верхности рыбозащитного устройства типа ССРЗ-3000 конструкции Южгипроводхоза на насосной станции второго подъема рисосовхоза «Коммунар» при одном из обследований насчитывалось до 100 тыс. шт. прижатой молоди, а на поверхности РЗУ типа РУС-750 насосной станции Буденовской оросительной системы за одно поднятие сетки — до 200 тыс. шт. молоди рыб [13]. По данным КаспНИРХа, на водозаборах в пределах дельты р. Волги ежегодно погибает 8...14 млрд шт. рыб [14...16].

Анализ накопления осадка на очистных сооружениях, проблема рыбозащиты и технико-экономические расчеты однозначно указывают на целесообразность разработки новых типов водозаборно-очистных сооружений, позволяющих снизить грязевую нагрузку на очистные сооружения, повысить надежность рыбозащиты, удешевить стоимость сооружений обработки воды и осадков на очистных сооружениях, улучшить экологическую обстановку в районах расположения водозаборных и очистных сооружений.

1.2. Классификация водозаборно-очистных сооружений и комплексов

Современная ситуация свидетельствует о том, что в ряде случаев в качестве источника централизованного питьевого водоснабжения приходится использовать воду, недостаточно пригодную для этих целей. И эта тенденция пока нарастает. Современные способы очистки и обеззараживания природной воды не всегда способны обеспечить получение химически безвредной, инфекционно безопасной и биологически полноценной питьевой воды.

Поэтому на водозаборно-очистные сооружения, входящие в единый техноэкологический комплекс с водоисточником, должны возлагаться прежде всего защитно-барьерные и водоочистные функции, не ухудшающие качество воды в нем и не влияющие отрицательно на гидрологический режим водотоков или гидрогеологический режим водоносных подземных пластов.

Как и для традиционных водозаборов систем водоснабжения, водозаборно-очистные сооружения делятся на *поверхностные* и *подземные*. По месту расположения по отношению к поверхностному водоисточнику они бывают *русловые, береговые* и *комбинированные*. По компоновке и размещению в узлах подземных водозаборов они располагаются либо только в *прифильтровой зоне скважин, шахтных колодцев, каптаже родников* и *горизонтальных водосборов*, либо они представляют собой комплекс, часть которого находится в *зоне водоприема*, а другая, *вспомогательная* — на *поверхности земли*. Примером последней может служить система обезжелезивания воды в водоносном пласте. К таким комбинированным комплексам относится и *система инфильтрационного восполнения* — использования истощенных подземных водоносных горизонтов (инфильтрационные сооружения бассейнового типа).

Следует различать *водозаборно-очистные сооружения* и *по технологии улучшения качества воды на них*. Большой класс сооружений, все чаще применяемый в настоящее время, реализует безреагентное осветление воды и механическое задержание грубых плавающих предметов. К этому классу сооружений и устройств относятся решетки, сетки, фильтрующие оголовки и водоприемные окна, перекрытые фильтрующими кассетами. Они отличаются большой водопроницаемостью, обусловленной значительным размером ячеек сетки и решеток (≥ 2 мм) и крупностью гранул фильтрующей обсыпки ($\geq 3...6$ мм). Их промывку обычно осуществляют обратным током воды непосредственно в водоисточнике или при периодической профилактике, в том числе с подъемом и извлечением из корпусов оголовков или водоприемных колодцев фильтрующих кассет. Входные скорости воды в водоприемной части таких классических водозаборно-очистных сооружений колеблются в пределах $0,1...1,5$ м/с. При небольшой производительности водозаборно-очистных узлов локальных и централизованных систем сельскохозяйственного водоснабжения и наличии условий для размещения сооружения в руслах водотоков или на их берегах без нарушения гидрологического режима площади водоприема таких

сооружений могут быть увеличены. Это позволяет снизить скорость фильтрования исходной воды.

Такое решение совместно с увеличением толщины слоя и уменьшением диаметра гранул обсыпки или уменьшением ячеек многослойных сеток или комбинированного сетчато-зернистого устройства существенно повышает эффект безреагентного осветления воды. Для южных рек, содержащих неустойчивую минеральную взвесь, иногда такими технологическими приемами удается достичь удовлетворительного качества питьевой воды по мутности и взвешенным веществам. В таких процессах помимо сил механического перехвата задерживаемых частиц взвеси частично имеют значение и силы седиментации и инерции.

Более глубокое осветление воды достигается в *водозаборно-очистных сооружениях отстойного типа*. К ним относятся: ковшовые водозаборы-отстойники; магистральные подводящие каналы, в концевых участках которых размещены насосные станции; аванкамеры больших размеров на берегах водотоков; отстойники Айрапетова, устраиваемые в руслах рек; наливные водоемы и водохранилища. В системах производственного оборотного водоснабжения отстойники, располагаемые на берегах и входящие в единый комплекс с водозабором, эксплуатируются как без применения, так и с применением коагулянтов и флокулянтов. В состав водозаборного узла в ряде случаев (системы орошения, сельскохозяйственное водоснабжение, техническое водоснабжение крупных предприятий, гидротехнические комплексы) включаются классические очистные установки: *гидроциклоны, сетчатые и зернистые фильтры*. Их монтируют на всасывающих или напорных водоводах насосов и размещают обычно на берегу или непосредственно в руслах водонисточников.

Особый класс водозаборно-очистных сооружений представляют *комплексы, предназначенные для биологической предочистки вод, содержащих органические загрязнения*: наливные водоемы (бассейны); специальные управляемые водохранилища: каналы и биоплато с высшей водной растительностью; береговые и русловые устройства, в которых размещены

носители (искусственные волокна, высокопористые гранулированные и кусковые материалы) для прикрепленной (иммобилизованной) микрофлоры. В сооружениях этого типа дополнительно могут устраиваться системы принудительной аэрации или озонирования воды. В случае использования высших водных растений (камыш, рогоз, тростник и др.) в подводящих каналах должны предусматриваться устройства для своевременного изъятия отмирающих растений с исчерпанной сорбционной (адгезионной) способностью. Использование перечисленных выше технологических приемов и сооружений для предочистки воды в процессе ее забора из источников в условиях Севера и на горных реках дополняется другими технологическими приемами и конструктивным оформлением (см. гл. 3 и 12).

Водозаборно-очистные сооружения и устройства из подземных водоисточников по выполнению ими технологических функций водоочистки делятся на четко выраженные два класса — фильтрующие устройства, предотвращающие попадание в эксплуатационные колонны скважин и шахты инфильтрационных и горизонтальных водозаборов песка и других мелких частиц водоносных пород (механическое задержание), и сооружения для дегазации и физико-химической очистки воды от железа с помощью кислорода атмосферного воздуха, вводимого в прифильтровую зону (см. гл. 11).

Особый класс представляют *водозаборно-очистные станции блочного типа* заводского изготовления, размещаемые непосредственно в акватории водотоков или водоемов или в их руслах. Отличительной особенностью этих комплексов (станций) является то, что в их состав наряду с водоприемными блоками и очистными элементами могут входить камеры размещения насосов, устройства для обеззараживания воды, баки для промывки очистных элементов. Такие комплексы, устраиваемые в руслах рек, не требуют дополнительных строительных конструкций на берегу. Иногда в них помимо традиционных приемов фильтрации и отстаивания реализуются процессы флотации, реагентной обработки (смещения и контактного фильтрования), электрообработки и др.

Создание водозаборно-очистных сооружений в районах вечной мерзлоты и сурового климата особенно актуально из-за сложности очистки воды. Целесообразным и эффективным является улучшение качества отбираемой воды непосредственно в водонесочниках. Низкая температура воды в источниках (8...9 мес. и более в году температура большинства водонесочников близка к 0 °С, редко +1...+2 °С) увеличивает вязкость, замедляет технологические процессы обработки и обеззараживания воды, рассчитанные на более высокую температуру (+6...+25 °С). Увеличение вязкости, замедление химических, физико-механических реакций при низких температурах воды снижают эффект отстаивания и фильтрации, требуют увеличения доз коагулянтов, многократно удорожая стоимость сооружений и себестоимость получаемой воды.

Реагентные методы очистки воды на Севере крайне неэкономичны из-за отдаленности заводов-поставщиков, дороговизны завоза и хранения реагентов, необходимости создания их больших резервов на зимний период. Исключительно сложны строительство и эксплуатация водоочистных станций, сооружаемых на вечномерзлых грунтах.

Эффективная обработка воды достигается ее подогревом, механическим перемешиванием, применением хлорного железа и др. Воды большинства поверхностных источников имеют повышенное содержание железа, гуматов и пониженное — кислорода. Мутность большинства источников Севера не более 20...50 мг/л (зимой) и до 250...500 мг/л (в весенний паводок). В летний пик паводка («черная вода» в июле — начале августа) мутность повышается до 1200...1500 мг/л и более при цветности до 100...150° ПКШ. Зимой цветность на порядок ниже.

Практика показала, что при заборе воды инфильтрационными и фильтрующими водоприемниками, являющимися, по существу, водозаборно-очистными сооружениями, можно получать воду, требующую лишь минимальной очистки и обеззараживания. Даже самые сложные конструкции водозаборно-очистных сооружений, обеспечивающих высокую степень предочистки воды, вполне оправданы. Целесообразно при этом и развитие обширного

водоприемного фронта с малыми (ниже 0,005 м/с) скоростями водоотбора [17...19].

Следует особо отметить, что в каждом конкретном случае организации водоотбора выбор водозаборно-очистного сооружения или устройства должен осуществляться, в первую очередь, с учетом гидрологических и гидрогеологических режимов существования водотоков и водоносных подземных пластов, эксплуатации водоисточников, их использования для энергетики, в качестве транспортных артерий и проведения по ним лесосплава, особенностей зимних условий эксплуатации, зарегулированности стока, обеспечения рыбозащиты и правил охраны от техногенных загрязнений, а затем — в зависимости от технической и экономической целесообразности обеспечения заданного эффекта очистки воды.

Литература к гл. 1

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. — М.: Стройиздат, 1982.
2. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды / Л.А. Кульский, И.Т. Горюновский, А.М. Когановский, М.А. Шевченко. — Киев: Наукова думка, 1980.
3. Проблемы речных наносов и качества вод / Под ред. А.В. Карашева, И.В. Боголюбовой. — Л.: Гидрометеониздат, 1983.
4. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. — Л.: Гидрометеониздат, 1986. — Т. 1. РСФСР. — Вып. 8: Бассейны Онеги, Северной Двины и Мезени.
5. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. — Л.: Гидрометеониздат, 1986. — Т. 1. РСФСР. — Вып. 23. — Бассейн Волги.
6. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. — Л.: Гидрометеониздат, 1985. — Т. 1. — Вып. 8: Бассейны Онеги, Северной Двины и Мезени.
7. Лопатин Г.В. Наносы рек СССР. — М.: Географгиз, 1952.
8. Шапов Г.И. Речные наносы. — Л.: ГИМИЗ, 1954.
9. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Введен 01.01.85 / Госстрой СССР. — М.: Стройиздат, 1985.
10. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастаньский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. — М.: Высш. школа, 1984.

11. Оводов В.С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. – М.: Колос, 1989.
12. Любарский В.М. Осадки природных вод и методы их обработки – М.: Стройиздат, 1980.
13. Извольский И.С., Эрслер А.А. К вопросу об определении эффективности РЗУ // Биологические основы применения рыбозащитных и рыбопропускных сооружений. – М.: Наука, 1978.
14. Городничий А.Е. Данные по биологическому обоснованию мер защиты рыбы от попадания в водозаборные сооружения // Биологические основы применения рыбозащитных и рыбопропускных сооружений. – М.: Наука, 1978.
15. Корябкин В.Н., Загуменнова Н.Т. Исследования рыбозащитных устройств водозаборов дельты р. Волги // Сооружения рыбопропускных и рыбозащитных комплексов. Сб. науч. тр. – Новочеркасск: НИМИ, 1987.
16. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников / Под ред. К.А. Михайлова, А.С. Образовского. – М.: Стройиздат, 1976.
17. Вдовин Ю.М. Водоснабжение на Севере. – Л.: Стройиздат, 1987.
18. Порядин А.Ф. Водозаборы в системах централизованного водоснабжения. – М.: Изд. НУМЦ Госкомэкологии РФ, 1999.

2.1. Типы и условия применения водоприемных ковшей

Водоприемные ковши производительностью обычно не более 20...25 м³/с устраивают для борьбы с шуголедовыми помехами на речных водозаборах, а также для очистки воды [1, 2]. Иногда при соответствующем заглублении дна и последующих очистках водоприемные ковши могут быть использованы для увеличения глубин у места приема воды, а также относительной величины расхода воды, отбираемой на нужды водопотребителя. Бассейны водоприемных ковшей обычно покрываются ледяным покровом на 2...3 дня раньше, чем в речном потоке. Установление ледяного покрова в ковше значительно снижает теплоотдачу в атмосферу и поддерживает на нижней кромке льда постоянную нулевую температуру. Бассейны водоприемных ковшей должны иметь длину и скорость течения, обеспечивающие всплывание к поверхности всех кристаллов ледяной взвеси гидравлической крупностью $w \leq 0,015...0,02$ м/с, и осаждение взвеси.

Водоприемный ковш необходимо своевременно освобождать от отлагающихся в нем наносов. Следует принимать меры к поддержанию в различные сезоны года необходимых глубин на входе в ковш.

В обычных условиях водоприемный ковш не должен сколько-нибудь значительно изменять бытовой режим речного потока, так как стеснение последнего может привести к возникновению заторов льда или ухудшению существующего водопользования. Все изменения бытового режима речного потока должны быть направлены на улучшение руслового режима у места водозабора и предварительно проверены лабораторными и натурными исследованиями.

До последнего времени очистка воды от взвешенных наносов в ковшах рассматривалась как попутная, а иногда и второстепенная задача. Устройство ковшей-отстойников в большинстве случаев целесообразно и обосновывается технико-экономическими расчетами. При выборе места расположения водозабора и ковша на шугоносных реках предгорий гидравлические и морфологические особенности русла следует рассматривать как основу прогноза возможных форм транзита шуголедовых масс и шугозаполнения русла [1...3].

Следует выбирать плесы малой кривизны ($R \geq 4...5 \geq B$) и большой длины, а место водозабора назначать в пределах трети четверти длины плеса при счете их сверху вниз по течению. Нежелательно расположение ковша в зоне возможного формирования береговых шугозажоров. В условиях средних и малых разветвленных рек ковш необходимо располагать ниже слияния проток или в протоке с обеспеченным минимальным стоком. На больших реках с интенсивным шугозажорным режимом для расположения водозабора и ковша могут быть использованы обходные протоки [1, 2, 9].

Выбор типа водоприемного ковша. В отдельные годы на участках формирования русловых или береговых шугозажоров, сопровождающихся резкими и значительными колебаниями уровней воды в реке, водоприемные ковши не могут обеспечить непрерывного и достаточного отвода воды из русла. Практика борьбы с шуголедовыми помехами и снижением количества взвеси (наносов, водорослей и пр.) предопределила многообразие конструкций водоприемных ковшей в зависимости от характера рек, структуры русла и долины, условий управления процессами руслоформирования, берегоукрепления в акваториях водоотбора и водоотбора из взвесенесущих потоков (рис. 2.1).

Ковши с верхним входом, частично или полностью выдвинутые в русло реки, как средство защиты водозабора от шуги и взвешенных наносов не рекомендуются. Двухсторонние ковши устраивают для повышения бесперебойности работы водозабора. Водоприемный ковш

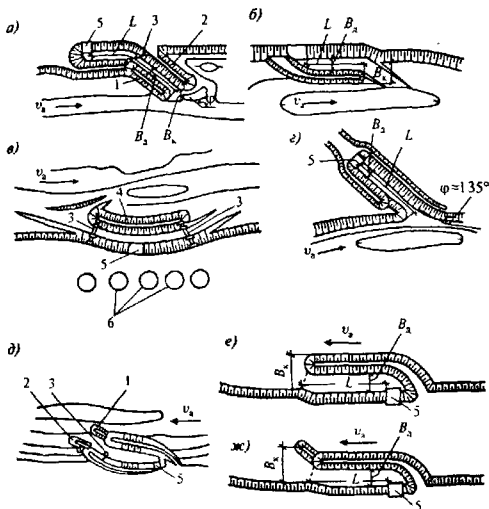


Рис. 2.1. Водоприемные ковши с низовым входом:

а-с) — частично затопляемые, *д-ж*) — незатопляемые: 1 — верховая затопляемая в половодья дамба, 2 — низовая незатопляемая дамба; 3 — регуляторы; 4 — речная незатопляемая дамба; 5 — насосная станция; 6 — радиальные отстойники

с низовым входом, полностью или частично выдвинутый в русло реки, образованный незаливаемой речной дамбой и имеющий свободный подход воды снизу, обычно применяют в условиях обильной шуги и наносов [2, 7, 8].

Водоприемный ковш с низовым входом, образованный незаливаемой речной дамбой, может применяться и на реках, не характеризующихся шугозажорным режимом

или особо тяжелыми условиями весеннего ледохода, если количество наносов, транспортируемых рекой в половодье, не превышает $0,76 \text{ кг/м}^3$. В этих случаях для борьбы с избыточной заносимостью водоприемного ковша взвешенными наносами у оголовка речной дамбы устраивают заливаемую в половодье верховую шпору; гребень ее не должен затопляться в период хода шуги, а угол между осью гребня и направлением течения в реке составлять около 135° .

В тех же условиях, но при необходимости сброса промышленных стоков ниже ковша на расстояниях, меньших 8...10-кратной величины выноса внешней грани речной дамбы в русло, целесообразно применять ковш, снабженный низовой, незаливаемой в половодье дамбой. В этом случае для борьбы с избыточной заносимостью ковша взвешенными наносами можно устроить верховую и низовую шпоры, а также бортовую струенаправляющую стенку у низового борта входа в ковш.

На реках с ограниченной интенсивностью шуголедовых явлений, русла которых изогнуты или сложены слабыми и мелкозернистыми грунтами, предпочтительнее ковши, заглубленные в берег, с углом отвода около 135° . Использование ковша для предварительного частичного отстаивания взвешенных наносов целесообразно на реках с большой мутностью воды ($\geq 2...4 \text{ кг/м}^3$) при наличии устройств, обеспечивающих своевременное удаление отложений.

При значительной мутности воды в реке ($> 1 \text{ кг/м}^3$) и наличии специальных требований к предварительному осветлению воды в ковшах, заглубленных в берег, целесообразно устраивать бортовые стенки, регуляторы на входе или другие сооружения, снижающие избыточную заносимость ковша. При необходимости поддержания у входа в ковш или на подходе к нему глубин, превышающих существующие, особенно в случаях неглубокого залегания кровли коренных пород, рекомендуются водоприемные ковши с самопромываемым входом, которые могут быть использованы и как своеобразные выправительные сооружения [2, 8, 9].

В некоторых случаях на сильно шугоносных реках, в паводки транспортирующих чрезвычайно большие количества мелких взвешенных наносов, водоприемный ковш с низовым входом, выдвинутый в русло реки, можно устраивать только на период шугохода. В этом случае перед водозабором параллельно берегу и на расстоянии от него, равном требуемой ширине ковша, необходимо устроить дамбу (или бычок), а в пролете между дамбой и берегом — регуляторы со шитовыми заграждениями, устанавливаемыми только на период шугохода и создающими при этом ковш, выдвинутый в русло реки. К началу половодья шитовые заграждения должны быть размещены выше высокого уровня воды в реке.

В условиях шугоносных рек, обладающих достаточными глубинами, при расходах воды $Q_p \leq 2...3 \text{ м}^3/\text{с}$ и возможности устройства водозабора с русловыми водоприемниками водоприемные ковши не рекомендуются. Однако на шугоносных реках с недостаточными глубинами применение водоприсмных ковшей целесообразно и при расходе воды $Q_p \geq 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$. При выборе схемы водозабора следует иметь в виду, что в периоды минимального стока относительный водоотбор в ковши из открытого русла может быть в 2...3 раза больше, чем в водоприемники других типов.

2.2. Определение основных размеров водоприемных ковшей

В расчетных схемах принято, что основным назначением ковша является защита водозабора от шуголедовых помех. При этом естественные условия или искусственные мероприятия полностью обеспечивают транзит по руслу всей массы поверхностной шуги данного водотока [1, 2].

В обычных условиях отметку дна ковша $\nabla_{\text{дк}}$ назначают из расчета обеспечения требуемых глубин в нем в пери-

оды стояния расчетных низких горизонтов воды в реке. Чаще всего это требование относится к минимальным уровням зимней межени ($\nabla_{\text{м.з.у}}$), когда в водоприемном ковше устанавливается расчетная толщина ледяного покрова. Для этого случая отметку дна ковша можно определить по формуле

$$\nabla_{\text{д.к}} = \nabla_{\text{м.з.у}} - 1,33\rho_{\text{л}}\delta_{\text{л}} - 0,3 - D - h_{\text{п}}, \quad (2.1)$$

где 1,33 — коэффициент увеличения толщины льда в ковше по сравнению с толщинами льда, формирующегося в русле; $\rho_{\text{л}} = 0,92$ — плотность льда; $\delta_{\text{л}}$ — расчетная толщина ледяного покрова в русле реки; 0,3 — заглубление верхней кромки водоприемного отверстия высотой (диаметром) D под нижнюю поверхность льда; $h_{\text{п}}$ — высота порога приемных отверстий, назначаемая в зависимости от высоты слоя отложений наносов в водоприемном ковше в пределах 0,4...1 м.

Определенная по формуле (2.1) отметка дна ковша может быть увеличена (в пределах 1 м), если это увеличение исключает выемки в коренных скальных породах, залегающих у дна. Эту отметку целесообразно уменьшить при отборе в ковш из русла более 40 % минимального стока реки, если место водозабора не находится в пределах глубокого плеса. В этом случае отметки дна ковша могут быть на 1...2 м ниже отметок дна русла реки. Уровень дна ковша необходимо снизить при использовании ковша для отстаивания взвешенных наносов. При этом высота поверхности ожидаемых отложений наносов не должна приводить к нарушению питания ковша при установлении межени уровня воды в реке [1, 2]. Ширину водоприемного ковша по дну назначают в расчете на быстрое установление в нем ледяного покрова при работе ковша в тяжелой внешней шуголедовой обстановке.

Условная средняя скорость в ковше $v_{\text{к}}$ может быть определена по формуле А.С. Образовского

$$v_{\text{к}} = 0,3e^{-0,6k}, \quad (2.2)$$

где параметр k принимают по табл. 2.1 [1].

Ширину ковша по дну определяют по минимальному уровню воды в период шугохода $\nabla_{\text{м.у.ш}}$ с учетом наличия

в ковше льда ($\delta_{\text{л}} = 0,3 \dots 0,5$ м) и наносов (слой $h_{\text{н}}$), уменьшающих глубину живого сечения до значения

$$h_{\text{ж}} = \nabla_{\text{м.у.ш}} - \nabla_{\text{д.к}} - \delta_{\text{л}} - h_{\text{н}}.$$

При заданном геологическими условиями заложении откосов m ширину водоприемного ковша по дну находят по формуле

$$B_{\text{д}} = \frac{Q_{\text{в}}}{h_{\text{ж}} v_{\text{к}}} - m(2h_{\text{н}} + h_{\text{ж}}). \quad (2.3)$$

Значение $B_{\text{д}}$ при этом принимают не меньше ширины (5...8 м), необходимой для прохода снаряда, используемого при очистке ковша от наносов. Полную длину водоприемного ковша, заглубленного в берег, измеряемую по его оси от начального сечения входа до водоприемника, вычисляют по формуле

$$L = l_{\text{в}} + l_{\text{ш}} + l_{\text{р}}, \quad (2.4)$$

где $l_{\text{в}}$ — длина входной части ковша, охватываемой водоворотом на входе и засоряющейся шугой еще в начале шугохода; $l_{\text{ш}}$ — длина участка ковша, на котором в течение шугохода откладываются захваченные в ковш шуга и ледяная взвесь; $l_{\text{р}}$ — длина рабочей части ковша, в пределах которой к концу шугохода обеспечивается полное всплывание в транзитной струе всех скопленных кристаллов льда, имеющих гидравлическую крупность $w \geq 0,015 \dots 0,02$ м/с.

По формуле (2.4) определяют также длину ковша с низовым входом, полностью или частично выдвинутым в русло реки и имеющим низовые ограждающие дамбы. При отсутствии низовых дамб длину этого ковша можно также вычислять по формуле (2.4), но при $l_{\text{в}} = 0$, так как водоворот в этом случае располагается вне акватории ковша [11].

Длину входной части $l_{\text{в}}$ водоприемного ковша можно приближенно найти по формуле

$$l_{\text{в}} = (1 \dots 1,5) B_{\text{в}}, \quad (2.5)$$

где $B_{\text{в}}$ — ширина входа ковша, измеренная по урезу воды при среднем уровне воды в период шугохода.

Длину участка отложений шуги в ковше за период шутохода при малых водоотборах ($Q_v < Q_{v,пр}$) устанавливают приближенно на основе наблюдений за работой водоприемных ковшей в натуре. В зависимости от типа водоприемного ковша и режима его работы $l_{ш}$ бывает равной [1, 2, 10]:

- 5...10 м — для ковша с низовым входом, выдвинутым в русло реки, и не имеющего низовых дамб;
- 15...20 м — для ковша, заглубленного в берег;
- 20...35 м — для ковша с верховым входом, полностью или частично выдвинутым в русло реки.

Начальная ширина транзитной струи в ковше:

$$b_n = \frac{Q_v}{Hv_v}, \quad (2.6)$$

где H — глубина на входе в ковш при средних горизонтах воды в реке в период шутохода; v_v — скорость входа воды в ковш.

Если $Q_v < Q_{v,пр}$, то $v_v = (0,4 - 0,6)v_a$, и если $Q_v > Q_{v,пр}$, то $v_v = (0,6 - 0,9)v_a$.

Ширина гребня дамб ковшей принимают в пределах 4...5 м, а ширину берм — 1,5...2 м, если последние не предназначены для прохода автомашин и экскаваторов.

При размещении сооружений водоприемного ковша оценивают внешние условия работы ковша: его обтекание речным потоком, обеспеченность нормального транзита по руслу реки шуги, наносов и льда, а также и внутренний режим ковша, т.е. течения внутри него, отложения шуги и наносов и т.п. Кроме того, учитывают индивидуальные особенности места водозабора и в тех случаях, когда оно достаточно благоприятно, стремясь к наименьшему изменению бытового режима речного потока.

Если в месте водозабора недостаточные глубины у берега, то сооружения располагают таким образом, чтобы эти недостатки были устранены или смягчены без применения специальных выправительных сооружений. Случаи расположения ковшей и их компоновка при разных русловых формах показаны на рис. 2.2 (по А.С. Образовскому).

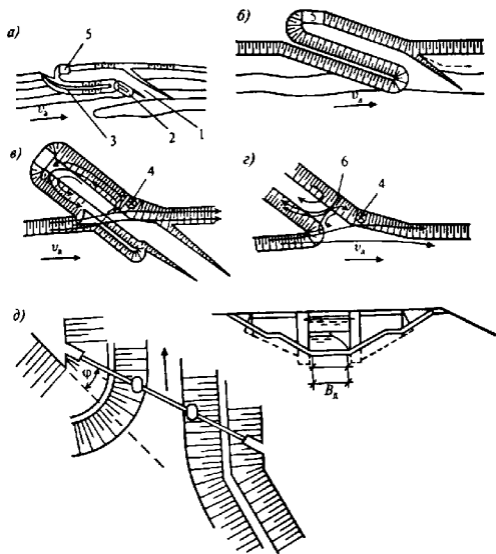


Рис. 2.2. Некоторые случаи расположения водоприемных ковшей:

a) – с проходной русловой прорезью, *б)* – с незатопляемой косою ограждающей дамбой; *в)* – без бортовой стенки; *г)* – с бортовой стенкой, *д)* – с регулятором на входе; 1 – подходная прорезь; 2 – верховая шпора; 3 – речная дамба; 4 – точка раздела токов; 5 – насосная станция; 6 – бортовая стенка

При компоновке сооружений водоприемного ковша и подборе всех размеров и форм необходимо стремиться к наиболее благоприятным внутренним очертаниям незаливаемого ковша, обеспечивающим [1] невозможность

образования в половодье только одного водоворота, распространяющегося на всю акваторию ковша; приданию наименьших размеров практически неустраняемому водовороту на входе в ковш. Лучшее решение получается в случае, когда акватория меженного водоворота окажется промываемой в период половодий и паводков и обеспечены условия для двухстороннего расширения в плане транзитной струи без ослабления интенсивности циркуляции.

При этом необходимо иметь в виду следующее:

- транзитные струи на входе в ковш всегда прижаты к низовому борту входа и направляются плоскостями этого борта, поэтому режим в ковше зависит прежде всего от положения откосов низового борта входа по отношению к направлению обтекающего потока;
- в точках (или области) раздела потоков реки и ковша, всегда размещающихся на плоскостях низового борта, уровень воды оказывается более высоким, чем в реке или ковше. Это местное повышение уровня воды усиливает интенсивность циркуляций в ковшах, заглубленных в берег реки, и в ковшах с низовыми незаливаемыми дамбами.

В последние годы для уменьшения избыточной заносимости ковша крупными взвешенными наносами применяют верховые, затопляемые в паводок, шпоры, располагаемые у оголовков речных дамб. Действием этих шпор от входа в ковш отбрасываются придонные массы речного потока, влекущие и донные наносы, и наиболее крупные фракции взвешенных наносов. Возникающая за шпорой акватория меженного входного водоворота, в которой задерживаются взвешенные наносы, топляки и т.п., в половодье промывается самим потоком.

Безнапорные дамбы водоприемных ковшей рекомендуется проектировать из материалов, позволяющих устраивать крутые откосы. Береговые откосы имеют крутизну, определяемую свойствами грунтов, слагающих берег. Выходы грунтовых вод должны быть дренированы. Крепление надводной части откосов внутри ковша рассчитывают с учетом воздействия главным образом атмосферных

влияний (ливней). В большинстве действующих ковшей надводная часть откосов заилена и покрыта густой травяной, а в некоторых случаях и кустарниковой растительностью. Подводную часть откосов внутри ковша желательно выполнять без креплений, которые лишь затрудняют очистку его от наносов. Внутренние откосы ковша (надводные и подводные) в пределах зоны циркуляции на входе требуют креплений облегченного типа.

Подводные крепления внешних откосов дамб и берега в большинстве случаев могут быть выполнены из камешной наброски крупностью $d \geq 0,006(v_a^4/H)$, где H — глубина над креплениями, v_a — максимальная скорость течения в береговой части русла. Такие крепления достаточно исправно работают на действующих ковшах. При неглубоком залегании коренных пород у всех интенсивно обтекаемых элементов ковша подводные крепления целесообразно опускать до кровли этих пород.

2.3. Расчеты выпадения взвешенных наносов в водоприемных ковшах

Расчеты выпадения взвешенных наносов выполняют для определения: гидравлической крупности фракции наносов w_n , полностью задерживаемой в ковше; мутности воды ρ_r забираемой из ковша; суточного (сезонного или годового) объема отложений наносов в ковше W ; мощности слоя отложений наносов h_n на входе в ковш. Для выполнения расчетов поведения взвешенных наносов в ковше необходимо иметь [2]:

- совмещенный гидрограф твердого и жидкого стоков за год средней водности;
- график сезонного изменения мутности воды в реке, выраженной в $кг/м^3$ и измеренной в береговой части русла у места расположения водоприемного ковша;
- интегральную кривую гранулометрического состава взвешенных наносов и донных отложений береговой части русла.

Расчету поведения взвешенных наносов в водоприемном ковше предшествует построение поля скоростей течения в нем. Достаточно надежное поле скоростей течений можно получить лабораторным путем, если масштаб модели обеспечивает турбулентный режим в транзитной струе ковша. Поле скоростей течения в ковше при отсутствии данных лабораторных наблюдений может быть приближенно построено путем выявления размеров и расположения в плане транзитной струи и окружающих ее водоворотов.

Ширину транзитной струи в начальном сечении входа (рис. 2.3) определяют по формуле (2.6).

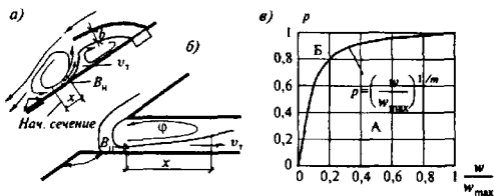


Рис. 2.3. Схемы расположения транзитной струи в низовом (а) и заглубленном в берег (б) ковшах, а также зависимость ρ от w/w_{max} (в)

Ширину транзитной струи в других сечениях определяют по средним скоростям течения, которые находят по формуле

$$v_t = \frac{v_s}{1 + \operatorname{tg} \beta \frac{x}{b_n}}, \quad (2.7)$$

где x — расстояние данного сечения от начального, м; β — угол бокового расширения транзитной струи, принимаемый равным: $0^\circ 4,5' \dots 11^\circ 15'$ — при одностороннем расширении, возникающем в случаях расположения транзитной струи у низового борта и образования одного водоворота в ковше; $1^\circ 15' \dots 2^\circ$ — при двухстороннем расширении, возникающем при извилистом очертании транзитной струи и формировании нескольких водоворотов в ковше; $2 \dots 3^\circ$ и бо-

лее — при искусственном расширении с помощью шпор, бортовых стенок, сквозных конструкций и т.п.

Расположение транзитной струи и водоворотов в пределах акватории ковша следует принимать по аналогии с имеющимися данными лабораторных опытов. Скоростной режим в первичных и вторичных водоворотах можно приближенно характеризовать наибольшими значениями прямых и обратных скоростей, соответствующих точкам по концам малого диаметра водоворота D_m . В месте контакта водоворота с транзитной струей скорость прямого присоединенного течения может быть принята равной скорости в транзитной струе V_T [1, 11].

Скорость обратного течения воды в точке на другом конце малого диаметра водоворота принимают равной $V_T/2$.

Точка нулевой скорости может быть взята на расстоянии $D_m/3$ от линии контакта водоворота с транзитной струей.

Расход водообмена между ковшом и речным потоком, устанавливающийся при режиме водообмена, зависит от угла отвода φ и приближенно определяется по формуле

$$Q_{об} = \frac{Hv_a B}{100}, \quad (2.8)$$

где v_a — скорость течения в русле реки; B — ширина ковша на входе; H — глубина воды на входе.

Опытное значение $f(\varphi)$ в зависимости от угла отвода φ принимается равным:

$\varphi, ^\circ$	45	60	90	135	150
$f(\varphi)$	6,1	4,9	3,4	2,6	2,6

Гидравлическую крупность w_n фракции взвешенных наносов, полностью задерживаемой в ковше, находят по формуле

$$W_n = \frac{Q_o}{b_n s + \frac{1}{2} \text{tg} \beta s^2}, \quad (2.9)$$

где s — расчетная длина выпадения фракции w_n .

В обычных условиях эту длину можно принимать равной длине ковша L и только в случаях повышенной гарантии выпадения фракции w_n следует принимать $s = L/1,2$.

Мутность воды ρ_B , забираемой из ковша без учета водообмена с водоворотами, определяют по формуле

$$\rho_B = \rho_a \left(\frac{W_T}{W_m} \right)^{\frac{1}{m}} \left[1 + \frac{1}{3m} \left(\frac{W_n}{W_T} - 1 \right) \right], \quad (2.10)$$

где ρ_B — мутность воды в реке, кг/м³; m — параметр, характеризующий состав взвешенных наносов речного потока, безразмерный; $m = \text{площадь } A / \text{площадь } B$ (см. рис. 2.3, в); w_n — наименьшая гидравлическая крупность фракции, полностью задерживаемой в ковше, м/с; w_T — гидравлическая крупность фракции, не выпадающей в транзитной струе, м/с; $w_T = 0,016 V_{TL}$ (V_{TL} — скорость в конечном сечении транзитной струи).

С помощью кривой состава взвешенных наносов находят

$$\left(\frac{W_T}{W_m} \right)^{\frac{1}{m}} = p, \quad (2.11)$$

где p — количество взвешенных наносов, не выпадающих в транзитной струе ковша, взятое в долях полного начального количества взвеси; w_m — наибольшая гидравлическая крупность в составе взвешенных наносов, транспортируемых данным речным потоком, равная половине динамической скорости, соответствующей береговой части речного потока.

Значение w_m принимают:

$$w_m = 0,04 v_a, \quad (2.12)$$

где v_a — скорость течения в реке.

Суточный объем отложений взвешенных наносов в водоприемном ковше находят по формуле

$$W = \frac{86,4}{\rho_n} \rho_a Q_B \left(1 - \frac{\rho_B}{\rho_a} \right) \left(1 + \frac{Q_{об}}{Q_B} \right), \quad (2.13)$$

где Q_B — расход воды, забираемой из ковша, м³/с; ρ_n — плотность отложений наносов, т/м³; ρ_B — мутность воды, забираемой из ковша, определяемая по формуле (2.10); $Q_{об}$ — расход водообмена ковша с речным потоком, вычисляемый по формуле (2.8).

Значение ρ_n определяют по формуле А.Г. Хачатряна [15]

$$\rho_n = 0,88 + 0,66 P^{0,3}, \quad (2.14)$$

где P — количество песчаных фракций ($d > 0,05$ мм) в осадке, выраженное в долях массы всего осадка.

Объем отложений за другие отрезки времени (месяц, сезон, год) находят методом последовательного суммирования.

Среднюю гидравлическую крупность взвешенных наносов, содержащихся в воде, забираемой из ковша, приближенно находят по формуле

$$W_T = \frac{W_n}{m + 1}, \quad (2.15)$$

где w_n — наименьшая гидравлическая крупность фракции, полностью задерживаемой в ковше и определяемой по формуле (2.9); m — параметр состава взвешенных наносов данного речного потока.

Мощность слоя отложений на входе в ковш h_n на реках с малой мутностью зависит от времени и притока твердого материала.

Суточный объем заиления входа составит

$$W = \frac{86,4}{\rho_n} \rho_a Q_a \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_n}\right) \left(1 + \frac{Q_{об}}{Q_a}\right), \quad (2.16)$$

где ρ_n — плотность отложений; ρ_a — мутность воды в реке, кг/м^3 ; $Q_{об}$ — расход водообмена, определяемый по формуле (2.8); ρ_n — мутность воды в водовороте; приближенно принимают скорость в обратной ветви водоворота равной четверти скорости в реке.

При площади водоворота

$$\Omega \approx 0,79 D_m^2 \quad (2.17)$$

наибольшая высота слоя отложений (в центре водоворота) составит

$$h_{н,м} \approx (1,9 \dots 1,5) \sum_0^T \frac{W_a}{D_m^2}, \quad (2.18)$$

а наименьшая (у низового борта) —

$$h_{н.м} \approx (0,9...0,7) \frac{\sum_0^T W_в}{D_в^2}, \quad (2.19)$$

где T — расчетный период, сут; $D_в$ — малый диаметр водоворота, м;

$\sum_0^T W_в$ — объем отложений за расчетный период.

На реках с обильной мелкой взвесью отложения в середине водоворота могут достичь поверхности воды. Здесь скорость циркуляции $v_ц$ близка к нулю, а

$$h = H - (0,018/w)(v_ц^3/\rho), \quad (2.20)$$

где H — начальная глубина на входе в ковш.

Расчистку подходов к водоприемному ковшу, а также его входной части следует выполнять непосредственно перед шугоходом и заканчивать к его началу. На реках, не используемых для лесосплава, очистку ковша от наносов удобно выполнять плавучими землесосными снарядами. При этом все необходимые приспособления и устройства для папильонажа, подвода тока, отвода пульпы и т.п. целесообразно изготавливать одновременно с выполнением основных сооружений ковша.

На реках, используемых для молевого сплава леса, в акватории водоворотов, несмотря на защиту их запанями, заходит много топляков, образующих на входе в ковш своего рода «пыжи», которые быстро заиливаются, что крайне затрудняет расчистку входа. В таких условиях расчистка может быть выполнена только снарядами грейферного типа. Водоприемные ковши небольших размеров, засоряемые песчано-илистыми отложениями, могут очищаться экскаваторами с ковшом-драглайном. При расчете на работу этих снарядов на откосах водоприемного ковша необходимо предусмотреть устройство широких берм (до 4 м), а также съездов на эти бермы.

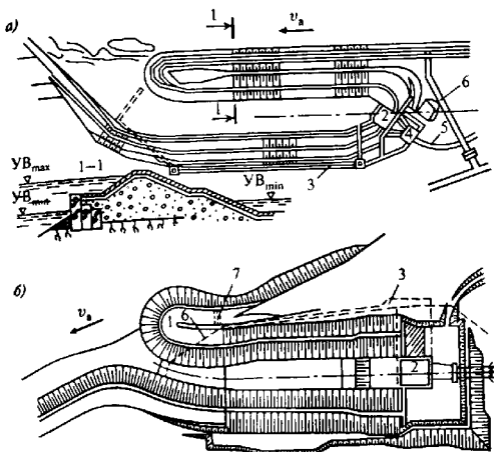


Рис. 2.4 Эксплуатируемые водоприемные ковши:

а) — производительностью около $10 \text{ м}^3/\text{с}$; б) — то же, $6,5 \text{ м}^3/\text{с}$;
 1 — речная дамба; 2 — насосная станция I подъема; 3 — подвод
 теплой воды; 4 — напорный бассейн и камера переключений;
 5 — железобетонный канал; 6 — сброс теплой воды; 7 — выпуск
 напорных струй для отгона шуги от входа в ковш

Скреперные установки, применяемые для очистки водоприемных ковшей, недостаточно удобны и маневренны. Плавающие снаряды черпакового типа вполне эффективно работают при удалении галечных и песчано-гравийных грунтов. На илистых и мелкопесчаных отложениях от их применения следует воздерживаться, если очистка ковша не связана с необходимостью восстановления прорезей в крупнозернистом ложе реки.

Очистку отложений на подходах к ковшам с низовым входом, выдвинутым в русло реки, рекомендуется выполнять по

всей зоне обратных течений и на ширине 15...20 м непосредственно ниже головы речной дамбы. На рис. 2.4 приведены примеры успешно работающих в течение 20...30 лет водоприемных ковшей на разных реках, в том числе и при заборе воды с обильными (более 20...25 кг/м³) наносами [5, 12].

В последние десятилетия накоплен опыт забора воды со значительной очисткой ее водоприемными ковшами с фильтрующими ограждающими дамбами [12]. Опыт и исследования А.А. Смирнова в этом направлении показали возможность получения осветленной на 70...80 % воды от взвесей, планктона, водорослей и прочего при надежной рыбозащите [13]. Самопромывающиеся водоприемные ковши [15] позволяют решить задачу очистки бассейнов ковшей за счет речного потока.

Литература к гл. 2

1. Образовский А.С. Гидравлика водоприемных ковшей. — М.: Стройиздат, 1962.
2. Образовский А.С., Ереснов Н.В., Ереснов В.Н. и др. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников. — М.: Стройиздат, 1976.
3. Офищеров А.С. Вопросы гидравлики водозабора. — М.: Госстройиздат, 1952.
4. Бондарь Ф.И., Ереснов Н.В., Семенов С.И. Специальные водозаборные сооружения. — М.: Стройиздат, 1963.
5. Образовский А.С. Выпадение взвесей в водоприемном ковше, огражденном незаливаемыми дамбами // Водосн. и сан. техника, 1963. — № 5. — С. 23...26.
6. Аверкнев А.Г., Макаров И.И., Синотин В.И. Бесплотинные водозаборные сооружения. — Л.: Энергия, 1969.
7. Кузуб Г.Я. Ковшечные водозаборы на реках Сибири // Сб. тр. / НИИ-ЖТ. — 1963. — Вып. XXXVI. — Гидравлика, ледотермика, водоснабжение.
8. Макеров Н.С. Устройство и эксплуатация водоприемных сооружений на реках Сибири. — М.: МЖКХ РСФСР, 1957.
9. Кузовлев Г.М. Из опыта эксплуатации фильтрующего водозабора // Гидротехническое строительство. — 1970. — № 4.
10. Малишевский Н.Г. Водоприемники из открытых водоемов. — Харьков: Изд. ХГУ, 1958.

11. Михалев М.А. Некоторые вопросы гидравлики водоприемных ковшей, работающих в режиме водообмена. // Изв. ВНИИГ. – 1964. – Т. 75.
12. Кузовлев Г.М. Специальные гидротехнические сооружения на атомных предприятиях. – М.: Атомиздат, 1973.
13. Смирнов А.А. Использование фильтрующих водозаборов на водоемах // Сб. тр. / ВНИИ ВОДГЕО. – 1985.
14. Хачатрян А.Г. Отстойники на оросительных системах. – М.: Сельхозгиз, 1957.
15. Образовский А.С. Рекомендации по проектированию самопромывающихся ковшей. – М.: ВНИИ ВОДГЕО. – 1985.

ГЛАВА 3. НАЛИВНЫЕ ВОДОЕМЫ И ВОДОХРАНИЛИЩА

3.1. Назначение и область применения

Одним из эффективных комплексных методов забора и улучшения качества исходной воды является устройство прибрежных (наливных) водохранилищ для осветления воды из загрязненных рек и каналов, подверженных периодическим залповым сбросам в них загрязнений. Этот метод широко распространен в ряде стран Европы. Так, в Нидерландах воду из р. Рейн перед очистными сооружениями сначала направляют в наливные водохранилища для отстаивания в течение 260 сут. В крупных городах (Амстердам, Антверпен, Роттердам) на водопроводах производительностью от 100 до 600 тыс. м³/сут [1, 2] такие водохранилища позволяют исключить водоотбор из рек в периоды их случайного аварийного загрязнения. Они обеспечивают стабильное водоснабжение при низких уровнях и расходах воды в источниках, улучшая качество исходной воды. Последнее происходит как благодаря селективному отбору воды из источников, так и в результате процессов ее естественного биологического самоочищения во время пребывания в водохранилищах.

Роль водохранилищ возрастает при использовании маломощных водоисточников. Примером является система водоснабжения Роттердама с населением свыше 1 млн человек из относительно малого притока р. Рейн — р. Меас. Надежность отбора воды до 300 тыс м³/сут достигается каскадом наливных прибрежных водохранилищ с объемом до 90 млн м³, что обеспечивает запас на 260 сут. Водохранилища глубиной 5...8 м с береговыми и направляющими дамбами построены методом выемки-насыпи земснарядами в национальном парке Биесбош, расположенном в

40 км от города. В ходе их строительства получено около 23 млн м³ песка для промышленного строительства. Особо отметим, что, несмотря на дефицит земель в Нидерландах, до 600 га было отведено под наливные водоемы.

Значительный запас воды в водохранилищах позволяет безболезненно отключить любое из них для регулярной очистки земснарядами или ремонта, а также более строго подходить к качеству воды, используемой для их заполнения. В периоды паводка, повышенного содержания в воде аммонийного азота, планктона и других токсичных компонентов отбор воды из реки не осуществляется. Для оперативного контроля качества речной воды в Роттердаме используют биотестеры — садки с радужной форелью, через которые проходит исходная речная вода. При появлении в воде токсичных компонентов рыбы начинают метаться в садках и чаще заходить в «запретные» зоны, где они всегда подвергаются воздействию слабого электрического тока. Это отмечается оптическими датчиками и служит указанием на необходимость срочного аналитического определения токсичных компонентов и прекращения подачи воды из реки в водохранилища.

Во избежание температурной стратификации в водохранилищах и предотвращения развития в них планктона, а также для интенсификации процессов бактериального самоочищения воды ее периодически аэрируют сжатым воздухом. Воздух с общим расходом до 48 м³/мин подают в водохранилища через пластмассовые мелкопористые распределители, установленные у дна. Недостаток наливных водоемов в качестве водозаборно-очистного сооружения — возможность ухудшения качества воды в них из-за развития планктона, высшей водной растительности и анаэробных гнилостных процессов в донных отложениях. Это характерно для водохранилищ Московского водопровода, построенных без надлежащей очистки дна, при больших площадях мелководных застойных зон и накопившихся на дне больших количеств отложений.

Водоохранилища зарастают травой, подвергаются регулярному цветению, ухудшающему качество хранящейся в них воды, особенно во время «вспышки» развития планк-

тона и в последующие периоды его отмирания и разложения. Для предотвращения этих процессов при проектировании необходимо исключать наличие мелководий и застойных зон, а в ходе эксплуатации — предусматривать регулярную очистку дна и откосов водохранилищ от отложений и растительности. Постоянная аэрация воды в них предупреждает летнюю температурную стратификацию воды, благоприятную для развития планктона. Насыщение воды кислородом интенсифицирует бактериальные процессы нитрификации, обезжелезивания, деманганации и минерализации органического углерода. Однако постоянное и даже периодическое аэрирование воды требует существенных эксплуатационных затрат.

Процессы бактериального самоочищения в водохранилищах замедляются при температуре воды в них ниже $+6...+8^{\circ}\text{C}$. На практике увеличивают объем водохранилищ и время пребывания воды в них до такой степени, чтобы определенный период пребывания там воды обязательно приходился на теплое время года. Очистка воды в наливных водохранилищах интенсифицируется повышением эффективности процессов биологического самоочищения за счет сокращения времени пребывания воды в них до 3 сут и озонированием дозой 0,8 мг/л летом и 1,5 мг/л зимой. Это приводит к быстрой частичной деструкции растворенной природной и антропогенной органики, увеличивающей и ускоряющей ее биоразлагаемость. Даже малое время пребывания речной воды в водохранилищах обеспечивает очистку по мутности на 50...60 %, аммонийному азоту на — 60 %, перманганатной окисляемости на — 40 %, количеству патогенных бактерий — на 90 %.

В настоящее время для современного этапа модернизации большинства европейских водопроводов с водохранилищами небольшого объема типична организация дополнительной интенсивной биологической доочистки воды на сооружениях с повышенной концентрацией прикрепленных микроорганизмов, в осветлителях со взвешенным слоем осадка (взвеси), на биофильтрах или медленных фильтрах с биопленкой на поверхности их загрузки [1, 2, 7...11]. Построенные (строящиеся) на большинстве из водозабор-

ных сооружений фильтры с гранулированным активированным углем из-за небольшого срока службы угля до его регенерации или замены (2—3 года) по исчерпанию его сорбционной способности фактически являются не сорбционными фильтрами, а биофильтрами с большим количеством микроорганизмов (био пленкой), адсорбированных и закрепленных на развитой поверхности угля [3...8]. Практика применения фильтров с активным углем показывает [2...4], что снижение общего органического углерода (ООУ) на них за 1...2 мес эксплуатации падает до 20...30 % и даже сопровождается десорбцией отдельных менее сорбируемых загрязнений, в частности, летучей низкомолекулярной хлорорганики. Поэтому глубокое снижение ООУ, необходимое для предотвращения образования хлорорганики при дезинфекции воды хлорированием, даже при озонировании и углевании возможно лишь при высоком удалении ее на предшествующих ступенях очистки воды. Предозонирование воды, приводящее к частичной деструкции органики и увеличению вследствие этого ее биоразлагаемости, обеспечивает прохождение интенсивной биологической доочистки воды и снижение ООУ на угле на 20...30 % без его частой регулярной регенерации. Такие фильтры с предозонированием воды перед ними применены на водоочистных станциях Мери-сюр-Уаз Парижа и одной из станций Роттердама.

Биологическая доочистка предварительно очищенной в водохранилищах воды организована в системе водоснабжения Лондона из р. Темзы и ее притоков. Эта система имеет 39 водохранилищ с общим объемом около 200 млн м³ и временем пребывания воды в них до 3 мес. За это время мутность воды снижается с 14...20 до 3 мг/л, цветность с 31...40° до 24...31°, а перманганатная окисляемость с 2,4...3 до 1,8...2 мг О/л [1]. Воду из водохранилищ далее подвергают аэрации и безреагентной доочистке на скорых префильтрах и медленных фильтрах или только на медленных фильтрах, в которых на поверхности песка образуется биологическая пленка. При этом круглогодично обеспечивается получение качественной питьевой воды без применения реагентов.

Наиболее очевидный недостаток наливных водохранилищ — необходимость больших площадей под их стро-

ительство, а также затруднения в организации защиты воды в них от загрязнений воздуха, особенно при аварийных выбросах. Сложным является создание водохранилищ в густо населенных промышленно развитых районах. Поэтому для селективного отбора, хранения и естественной очистки воды еще с 30—40-х годов в качестве защищенных подземных водохранилищ, не требующих больших площадей, стали использовать истощенные подземные водоносные пласты. Специфичность условий хранения воды в пористо-трещиноватых средах водоносного пласта предъявляет повышенные требования к качеству воды, отбираемой из поверхностного водоисточника. Сам процесс восполнения подземных запасов воды, нашедший широкое практическое применение, получил название — искусственное пополнение подземных вод (см. гл. 13).

3.2. Конструктивное устройство наливных водоемов и водозаборных сооружений

В зависимости от соотношения расчетных расходов воды в водотоке (реке, канале) и воды, отбираемой в наливные водоемы (водохранилища), а также суточного отбора воды из водоемов водозаборные сооружения могут быть приплотинными или отдельно расположенными на берегах водохранилищ.

Приплотинные водозаборы устраивают, если расходы воды в водотоке Q_p меньше минимальных расходов воды, забираемой из рек и водоемов. По конструктивному решению такие водозаборы могут быть совмещены со стояком водоподъемной плотины (рис. 3.1) или с башней донного водовыпуска (рис. 3.2). По технико-экономическим соображениям рационально совмещать водозабор со стояком водоподъемной плотины и с насосной станцией первого подъема. В сооружении стояка плотины размещают водоприемные секции с подводными каналами и отводящими окнами в разделительной стенке. Окна перекрывают плоскими съемными сетками, а секции оснащают необходимым подъемным оборудова-

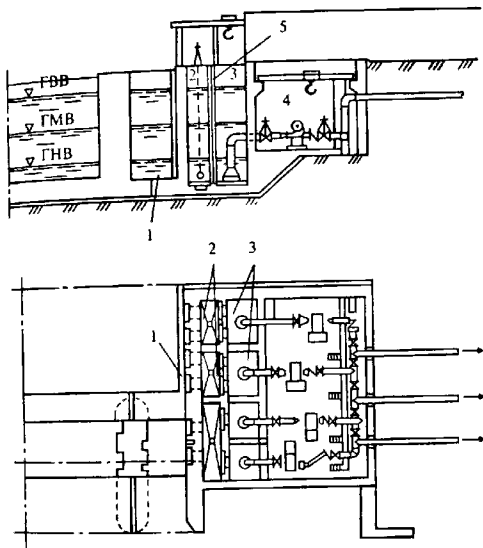


Рис. 3.1. Приплотинный водозабор, совмещенный с насосной станцией:

1 — сток водоподъемной плотины; 2 — водоприемная секция; 3 — всасывающее отделение; 4 — насосная станция; 5 — разделительная стенка с сороудерживающими сетками и водоприемными окнами

нием, трубами для выпуска осадка и запорно-регулирующей арматурой.

Приплотинные водозаборные сооружения из наливных водоемов и водохранилищ обычно устраивают также в виде водозаборного колодца, совмещенного с башенным донным водовыпуском и насосной станцией первого

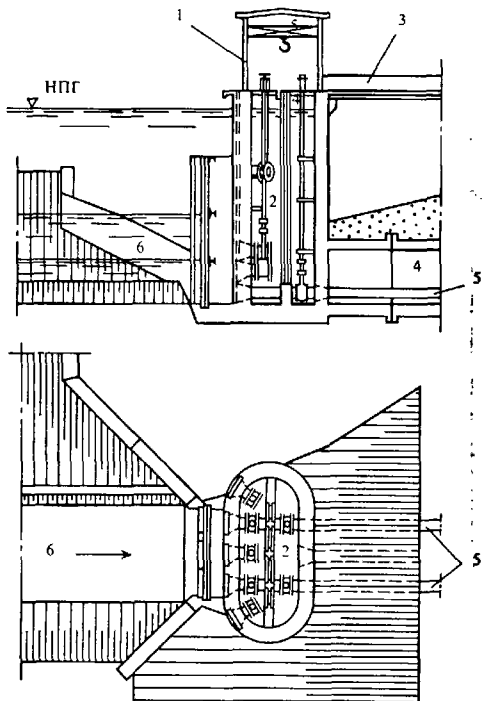


Рис. 3.2. Водозабор, совмещенный с башней донного водовыпуска:

- 1 — башня с донным водовыпуском; 2 — водоприемный колодец с разделительной стенкой, водоприемными окнами и всасывающим отделением насосной станции; 3 — соединительный мост; 4 — железобетонный тоннель; 5 — всасывающие трубопроводы НС-1; 6 — полводящий канал из водохранилища

подъема, размещаемой в нижнем бьефе плотин водохранилищ. Необходимыми условиями надежной эксплуатации таких водозаборов являются достаточные глубины воды, удобный доступ к ним со стороны берега водохранилища и возможность варьирования водоприема с горизонтов, наиболее благоприятных по качеству воды.

Водозаборы из небольших проточных водоемов водохранилищ, характеризующихся устойчивыми (в геологическом отношении) берегами с небольшой высотой волны и незначительной амплитудой колебаний уровней, по своим конструктивным особенностям не отличаются от общеизвестных русловых, береговых или инфильтрационных водозаборов из рек и каналов.

Пример водозаборного сооружения большой мощности из крупных водохранилищ показан на рис. 3.3. Водоза-

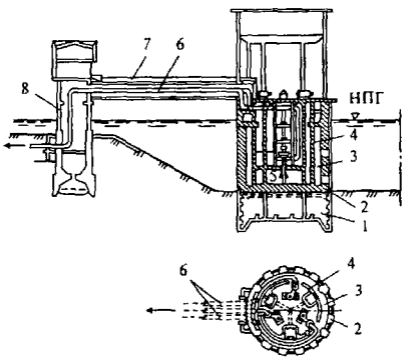


Рис. 3.3. Криб, совмещенный с насосной станцией:

- 1 — наливной кессон ребристой конструкции;
- 2 — водозаборный колодец в водохранилище;
- 3 — водоприемное отделение с камерами и вращающимися сетками;
- 4 — внутренняя шахта;
- 5 — вертикальные насосы;
- 6 — напорные водоводы;
- 7 — железобетонный мост-галерея;
- 8 — береговой колодец.

бор-кребль островного типа совмещен с насосной станцией первого подъема. В таких водозаборах водоприемная круговая цилиндрическая часть размещена коаксиально внутреннему помещению для размещения насосов. Водоприемные окна располагают по высоте в несколько ярусов, что позволяет существенно уменьшить входные скорости, максимально сократить вредные воздействия шуги и донного льда. В зимнее время воду насосами подают по

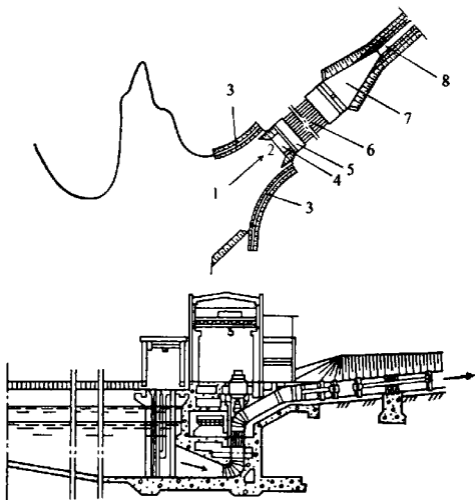


Рис. 3.4. Крупный водозаборный узел из водохранилища:

1 — водохранилище; 2 — водоподводящий канал; 3 — железобетонные откосы канала; 4 — аванкамера; 5 — насосная станция; 6 — напорные водоводы большого диаметра; 7 — водовыпускное сооружение (гаситель); 8 — магистральный оросительный канал

вертикальным участкам водоводов и общему коллектору в помещение крива, а затем по горизонтальным участкам, размещенным под служебным мостиком, соединяющим крив с берегом, в береговой водоприемный колодец.

При необходимости забора из крупных водохранилищ больших объемов воды (сотни м³/с) подводящий канал строят в виде ковша (см. гл. 2) или с помощью специальных направляющих плотин (рис. 3.4). В голове подводящего канала устраивают рыбозащитные устройства и иногда дополнительную аваикамеру. Чаше водозабор совмещают с насосной станцией с вертикальными осевыми или центробежными насосами.

Для систем оборотного водоснабжения крупных промышленных предприятий при наличии маломощных водоисточников узел водозаборно-очистных сооружений состоит из водоподъемной однопрогонной или вантовой (см. гл. 9) разборной плотины с плоским затвором (рис. 3.5),

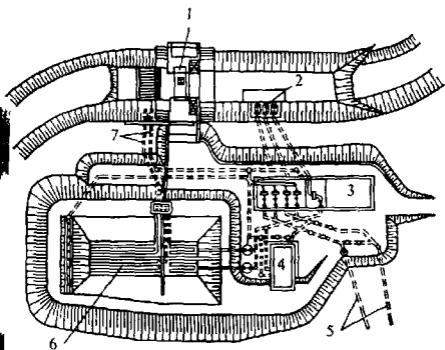


Рис. 3.5. Водозаборно-очистные сооружения системы оборотного водоснабжения промпредприятия:

1 — водоподъемная разборная плотина; 2 — береговой сетчатый колодец; 3 — насосная станция; 4 — реагентное хозяйство; 5 — напорные водоводы; 6 — горизонтальные отстойники; 7 — коллекторы для сброса осадка из отстойников

берегового незатапливаемого водозаборного колодца, самотечно-всасывающих труб и насосной станции первого подъема, горизонтальных отстойников, сбросных коллекторов для периодического сброса осадка из отстойников, реагентного хозяйства для интенсификации процессов осаждения и системы напорных водоводов для подачи воды от насосной станции в отстойники или в распределительную сеть промышленных предприятий. При ухудшении качества воды в водоисточнике (паводки, ливневый смыв с полей) водоотбор из водоисточника не производят. Вода на предприятия поступает в такие периоды только после отстойников.

Наряду с основными сооружениями водопроводных станций водохранилища становятся неотъемлемым регулирующим звеном технологической схемы водоподготовки (ТСВ). Обычно небольшие по объему (до $0,05 \text{ км}^3$) наливные водоемы и водохранилища являются звеном водохозяйственного комплекса, в который помимо водоемов входят участки рек, магистральные оросительные каналы и водоводы. Пример такого комплекса на р. Ингулец приведен на рис. 3.6. Водоохранилища сезонного регулирования заполняются водой с апреля по ноябрь и предназначены для аккумуляции воды на период прекращения ее подачи из магистрального канала оросительной системы (МК ИОС). Проектная площадь зеркала составляет 450 га, длина по тальвегу — 5,8 км, ширина — 1,8 км, средняя глубина — 5,5 м, максимальная глубина воды — 24 м, вместимость — 31,5 млн м^3 , в том числе: мертвый объем — 4,7, полезный — 26,8 млн м^3 .

Как показали исследования В.М. Нежлукченко [21], формирование качества воды в водохранилище зависит, в первую очередь, от гидрохимического режима и водного баланса источника-донора (р. Ингулец) и гидрологического режима МК ИОС, по которому воду транспортируют в водохранилище. Установлено, что гидрологический режим р. Ингулец влияет на изменение хлоридов и другие качественные показатели химического состава воды. При увеличении расхода воды в реке качество воды, поступающей в аванкамеру насосной станции, улучшалось. Формирование

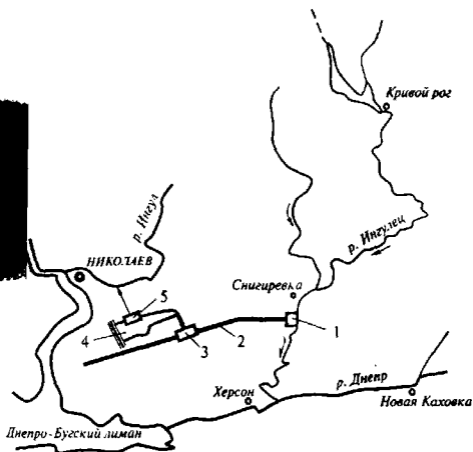


Рис. 3.6. Водозаборно-регулирующий комплекс на р. Ингулец:

1 – головной водозабор; 2 – магистральный канал; 3 – водозабор из магистрального канала; 4 – водохранилище сезонного наполнения; 5 – водозабор системы водоснабжения

качества воды водоисточника-донора является случайным процессом, обусловленным неучтенными факторами (климат, гидрогеология, неорганизованное поступление высокоминерализованных сточных вод Криворожского бассейна и др.). Качество воды в подводящем к водохранилищу воду канале улучшается при увеличении расходов воды в магистральном оросительном канале и снижении хлоридов в р. Ингулец. Следовательно, изменением режима работы головной насосной станции на реке можно регулировать качество воды, поступающей в водохранилище.

Специфичны водозаборно-очистные сооружения из предгорных и горных рек. В зависимости от уклона русел

скорость движения воды в них изменяется в пределах 0,5...3 м/с в межень до 5...6 м/с в паводки. Колебания уровней и расходов воды в горных реках не только по сезонам года, но и в течение одних суток значительно зависят от условий питания рек. В отличие от равнинных горные реки характеризуются неустойчивым большим твердым стоком в виде наносов (донных и взвешенных). Их концентрации могут достигать 50...3000 т/км² водосборной площади. Опасным может быть образование шуги (до 10...15 % расхода воды по руслу реки). Период непрерывного шугохода обычно составляет 5...6 сут. На ряде рек Кавказа период шугохода достигает 30...60 сут в году. Для бассейнов рек Средней Азии и Кавказа следует учитывать периодическое образование селевых потоков длительностью до 2 ч и более. Поэтому одна из главных особенностей конструкций водозаборно-очистных устройств на таких реках — предусмотрение возможности промывки их основных блоков в любое время.

По своим характерным признакам водозаборные сооружения на горных реках разделяют на инфильтрационные, бесплотинные, приплотинные и шпорные [22]. Инфильтрационные водозаборы устраивают на предгорных участках рек, сложенных валунно-галечниковыми и крупнопесчаными отложениями. На предгорных участках относительно крупных рек экономически и технически обоснованным может быть устройство бесплотинных водозаборов. На высокогорных и горных реках, несущих большое количество твердых наносов и шуги, устраивают плотинные водозаборы (рис. 3.7).

Принципиальные схемы шпорных бесплотинных водозаборов, используемых на предгорных и горных участках рек с большими уклонами и неустойчивыми руслами, показаны на рис. 3.8.

Искусственные наливные водоемы могут выполнять и сугубо очистные функции, когда они сооружаются в едином технологическом водоочистном тракте после группы (каскада) сооружений предварительной очистки сильнозагрязненной воды. Примером такого подхода являются наливные бассейны (водоемы) на станции очистки питье-

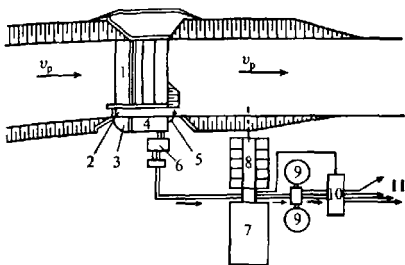


Рис. 3.7. Водозаборно-очистные сооружения на горной реке:

1 – водосборная часть низконапорной плотины; 2 – промывной шлюз; 3 – водоприемная камера; 4 – первичный отстойник; 5 – сбросной трубопровод; 6 – насосная станция первого подъема; 7 – вторичный отстойник; 8 – фильтровальная станция; 9 – резервуары чистой воды; 10 – насосная станция второго подъема; 11 – напорные водоводы

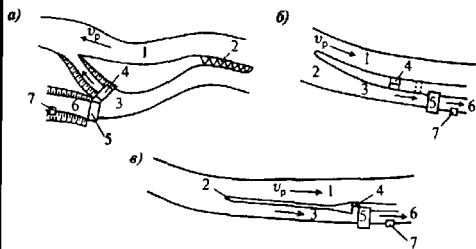


Рис. 3.8. Устройство шпорных водозаборов на горных реках:

а) – на разветвленном участке реки; б) – на прямом участке реки с подводным прямолинейным каналом; в) – с криволинейной шпорой; 1 – основное русло реки; 2 – шпора; 3 – подводящее русло к шлюзу; 4 – промывные шлюзы и канал; 5 – шлюз-регулятор; 6 – оросительный канал; 7 – водозабор для системы водоснабжения

вой воды в г. Цинциннати (США). Станция обеспечивает 90 % населения этого города питьевой водой и до 70 % территории площадью 1200 км² Hamilton Country [23]. Технология забора и очистки воды включает башенный береговой водозабор из р. Огайо, представляющий собой колодец, из которого по двум самотечным дюкерам (диаметром 2 и 3 м) (рис. 3.9) вода поступает в приемную камеру насосной станции первого подъема, расположенную на другом берегу реки. Насосная станция подает параллельно ≈ 360 тыс м³/сут воды на калифорнийскую станцию очистки г. Цинциннати и станцию Огайо — 880 тыс м³/сут.

Предварительная очистка состоит в механическом смешении воды с коагулянтами, хлопьеобразовании в перегородчатой камере и отстаивании в отстойнике с тонкослойными блоками. Далее вода самотеком направляется на дополнительное отстаивание в бассейнах мощностью до 1,5 млн м³/сут, где после коагулирования и смешения с реагентами в водосливе с широким порогом и гидравлическим «прыжком», хлопьеобразовании в перегородчатой камере поступает на вторичное отстаивание и фильтрование через песчаную загрузку с производительностью каждого фильтра 20 тыс м³/сут. Скорость фильтрования — 6,6 м/ч. Общие потери напора за фильтроцикл не превышают 1,8 м.

В 1992 г. для более глубокого удаления из воды р. Огайо органических загрязнений был достроен блок глубокой доочистки на гранулированных углях (12 сорбционных фильтров с 20-минутным контактом воды с угольной загрузкой). Две многоподовые печи обжига с производительностью 18 т/сут способны регенерировать 325 т использованного угля, удаляя с его поверхности адсорбированную органику.

3.3. Улучшение качества воды в контролируемых водоемах

При благоприятных климатических условиях и соблюдении экологической безопасности простое пребывание речной воды в водохранилищах даже без применения ре-

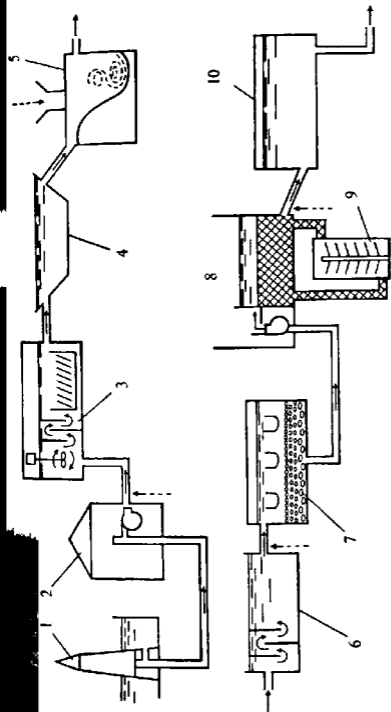


Рис. 3.9. Водозаборно-очистительный комплекс из р. Огайо (г. Цинциннати, США):

- 1 — башенный водозабор; 2 — насосная станция второго подъема; 3 — первичный блок реагентной водоочистки; 4 — наливной водоем; 5 — быстроток-смеситель; 6 — вторичный отстойник; 7 — скорые фильтры; 8 — адсорбер; 9 — печи для термической регенерации активированного угля; 10 — РВЧ; - - - - - → — места ввода реагентов

агентов радикально улучшает ее качество. Из табл. 3.1 видно значительное снижение содержания ионов аммония — наиболее критичного для этой системы показателя из-за высокого его содержания в исходной воде до 3...4 мг/л и чрезвычайно жесткой нормы на него в питьевой воде по Европейскому стандарту — 0,5 мг/л (в России 2,5 мг/л). Это обеспечивается прохождением в водохранилищах процессов биологической нитрификации и окислением ионов аммония до нитратов.

Этот показатель (см. табл. 3.1) является определяющим и при селективном отборе воды из реки в водохранилища. Для надежного снижения его на выходе из водохранилищ $\leq 0,2$ мг/л (с учетом дальнейшего снижения до нормы на водоочистных сооружениях) в речной воде, подаваемой в водохранилище, он не должен превышать 1...1,5 мг/л.

Повышенное содержание ионов аммония делает питьевую воду биологически нестабильной, что приводит, несмотря на хлорирование, к развитию процессов биологической нитрификации в разводящей сети, появлению в ней биообрастаний и коррозии труб, а также к возникновению в питьевой воде, особенно в отдаленных участках сети, неприятных запахов и привкусов [9...11].

За время пребывания в водохранилищах происходит также значительное удаление из воды нерастворимых осадков свинца, кадмия, железа и марганца. Отмечается удаление из воды взвешенных веществ, меди, ртути и хрома, 5...10-кратное снижение концентрации нефтепродуктов, почти полное (99,8 %) удаление фекальных колибактерий, снижение общего бактериального загрязнения на 99% и снижение ООУ по ХПК и окисляемости на 40...50%. Как показывают газохроматографические масс-спектрометрические анализы (табл. 3.2), пребывание воды в водохранилищах значительно уменьшает ее микрoзагрязнение различными группами органических веществ естественного и синтетического происхождения. По-видимому, это происходит в результате протекания процессов испарения (летучих), адсорбции и соосаждения, а также биоразложения.

Таблица 3.1.

**Улучшение качества речной воды
после каскада водохранилищ Бнесбош Роттердама [1, 2]**

Показатель качества воды	Концентрация в воде макс/средн., мг/л		Улучшение качества воды, макс/средн., %
	в исходной речной воде	в воде из водохранилищ	
Аммоний	2,9/1,07	0,5/0,2	83/82
Свинец	0,061/0,011	0,0031/0,0012	95/90
Кадмий	0,004/0,001	0,00047/0,0002	90/50
Нефтепродукты	0,72/0,105	0,045/0,02	94/50
Кишечные бактерии	—	—	—/99,8
Взвешенные вещества	/13,7	/2,6	81
Железо общее	/0,67	/0,01	98,5
Марганец	/0,12	/0,01	92
Цинк	/0,095	/0,009	90
Свинец	/0,008	/0,001	88
Азот аммония	/0,47	/0,06	87
Азот нитратов	/3,5	/3,3	6
Азот нитритов	/0,1	/0,04	60
Фосфор общий	/0,33	/0,15	55
ХПК	/14	/9	36
Окисляемость	/14	/7	50
Углеводороды	/0,06	/0,01	84
СПАВ	/0,06	/0,04	33
Общий счет бактерий (ед/мл)	/1200	/29	97,5

Таблица 3.2

Изменение состава и концентрации антропогенных органических микрозагрязнений в результате нахождения речной воды в каскаде водохранилищ Биесбош Роттердама [2, 9]

Органическое загрязнение	Реки		Водоохранилища	
	Общее число компонентов	Общая концентрация, мкг/л	Общее число компонентов	Общая концентрация, мкг/л
Жирные кислоты	7	3,6	10	3,5
Стероиды	3	5,3	1	0,6
Сложные эфиры – пластификаторы	12	3,3	9	1,4
Фенолы	12	4,8	4	0,8
Ароматические углеводороды	54	6,6	2	0,5
Разные	8	2,4	6	1,5
Общее количество компонентов	96	26	32	6,8

Наблюдается глубокое качественное и количественное удаление ароматических углеводородов, обладающих канцерогенными и мутагенными свойствами (их число уменьшается с 54 до 2, а общая концентрация сокращается в 13 раз). Весьма глубокое удаление (80...90 %) достигается по группам стероидов и фенолов. Из-за своей высокой биологической стойкости заметно хуже удаляются из воды (на 60 %) сложные эфиры, основные фталаты и фосфаты, используемые как пластификаторы в промышленности.

Концентрации жирных кислот (пальмитиновой, стеариновой) почти не изменялись из-за того, что эти веще-

ства являются промежуточными продуктами жизнедеятельности большинства микроорганизмов [2, 9].

Достигаемое в водохранилищах достаточно глубокое удаление большинства из находившихся в воде синтетических органических веществ, многие из которых образуют при хлорировании воды хлорорганические вещества и другие токсичные соединения, глубокое удаление аммонийного азота, сокращающего дозы хлора, значительно облегчает и удешевляет последующую очистку воды, сокращает расход реагентов на получение высококачественной питьевой воды.

До ввода в эксплуатацию каскада водохранилищ Биесбош во избежание биообрастаний в длинных (32 км) водоводах к очистным сооружениям необходимо было прехлорирование воды («за точку перелома») дозой 5...10 мг/л, что приводило к увеличению концентрации тригалометанов (ТГМ) в еще не очищенной воде до 70...100 мкг/л. Строительство водохранилищ позволило снизить дозу хлора до 1 мг/л, а зимой (при температуре воды ниже 6°C) — до 0, что снизило концентрацию ТГМ до 5 мкг/л [2].

Вода после биологического самоочищения в каскаде водохранилищ Биесбош подвергается дальнейшей очистке на двух водоочистных станциях. На старой станции с традиционной двухступенчатой схемой очистки, с применением в периоды появления привкусов и запахов наряду с коагулянтами порошкообразного активированного угля, обеспечивается дополнительное 15...20 %-ное снижение общего органического углерода (ООУ) в воде. На новой станции в дополнение к этой технологии использование озонирования и фильтрования через гранулированный активированный уголь (ГАУ) удваивает степень снижения ООУ.

3.4. Специфика формирования и улучшения качества воды эвтрофированных водоемов

401
402
Г
4

При значительном зарегулировании стока рек России, СНГ и Европы и создании на них водохранилищ с загрязнением последних сточными водами вода в них имеет высокую окисляемость, цветность, содержит большое количество тонкодисперсных органических коллоидных загрязнений, а в летнее время — и планктон. При коагулировании вод образуются легкие, рыхлые хлопья, скорость осаждения которых очень мала. Осветление таких вод в отстойниках и осветлителях требует повышенного расхода реагента (коагулянта, извести, флокулянтов) и не всегда обеспечивает получение необходимого эффекта осветления, несмотря на значительное снижение нагрузки на сооружения, увеличение их размеров и стоимости. Нередко часть взвеси, образующейся при коагуляции таких вод, не только плохо осаждается, но и имеет плавучесть, особенно при наличии в воде СПАВ, нефтепродуктов и планктона с естественной плавучестью.

Прехлорирование воды высокими дозами (8...15 мг/л), практикуемое на многих водопроводах, разрушая стенки клеток планктона, лишает его плавучести и позволяет осадить повышенными дозами коагулянтов. Однако это приводит к обогащению воды растворенной органикой, ухудшению ее органолептических показателей и образованию в ней больших количеств хлорорганических соединений. Органический характер осаждаемых взвесей, большие дозы гидрооксидных коагулянтов приводят в ходе очистки воды осаждением к образованию больших количеств загнивающего, плохо уплотняющегося, сильно обводненного осадка влажностью 99...99,5 %, затрудняя его последующее обезвоживание и удаление.

Использование контактного фильтрования в качестве альтернативного метода очистки таких вод ограничено

сравнительно небольшой грязеемкостью контактных осветлителей и фильтров, значительными расходами воды на промывку и соответственно большим объемом отстойных сооружений для повторного использования промывных вод, необходимостью микрофильтрации исходной воды при наличии планктона. Качество воды эвтрофированных водоемов формируется при поступлении загрязняющих веществ извне и при внутриводоемных процессах.

Ниже приведены результаты гидрохимических и санитарно-экологических исследований воды Октябрьского водохранилища в районе водозабора, полученные за 1976—1990 гг. Концентрация хлоридов, сульфатов и сухого остатка в основном не превышала допустимых значений. Вода относится к маломутной и малоцветной.

Показатель	Значение
Мутность, мг/л	1,5...34
Цветность, град. ПКШ	12...34
РН	7,15...8,8
NH_3^- , мг/л	0,02...1,3
NO_2^- , мг/л	0...0,96
NO_3^- , мг/л	0...3,1
PO_4^- , мг/л	0...0,7
Щелочность, мг-экв/л	1,82...3,10
Железо (Fe^{2+} , Fe^{3+}), мг/л	0,02...0,32
Марганец, мг/л	0...0,4
Кремний, мг/л	0,05...6,25
Растворенный кислород, % насыщения	29...149
Перманганатная окисляемость, мг O_2 /л	6,2...13,7
Бихроматная окисляемость нефильтрованной воды, мг O_2 /л	22,2...76,8
БПК ₅ , мг O_2 /л	0,7...11,1
Биомасса фитопланктона, мг/л	0,47...25,2
Общее количество бактерий, кол/мл	9...9900

Представленная блок-схема иллюстрирует взаимодействие характера загрязнений воды и факторов самоочищения в эвтрофированных водоемах.



Наиболее опасным процессом в сезонных изменениях качества воды является эвтрофикация. Использование эвтрофных водохранилищ для водоснабжения часто затруднено избыточным развитием водорослей. Функциональная деятельность их влияет на концентрацию водородных ионов, газовый режим, содержание минеральных и органических веществ. Последние обуславливают направленность физико-химических и биологических процессов, формирующих качество воды. С одной стороны, водоросли извлекают из воды биогенные элементы, выде-

ляют кислород, улучшая ее качество. С другой стороны, они представляют собой основные источники загрязнения. Массовое развитие и отмирание приводит к повышению количества взвесей в воде, увеличению цветности, концентрации органических соединений, численности бактерий, появлению в воде неприятных запахов и привкусов. Способность водоемов к самозагрязнению или самоочищению оценивается балансом продукционно-деструкционных процессов, которые происходят по всей высоте слоя воды, преобладая над продукционными в слоях ниже 3 м. В верхних слоях величина деструкции органического вещества значительно выше, чем в нижних [21].

Интенсивное «цветение» водоемов летом сопровождается уменьшением окисляемости в верхних слоях, несмотря на увеличение биомассы фитопланктона. Количество кислорода, поступающего в воду вследствие фотосинтетических процессов, расходуется на окисление органических и легкоокисляющихся неорганических соединений. В результате жизнедеятельности и разложения гидробионтов качество воды ухудшается. В окружающую среду выделяется значительное количество органических соединений, появляются неприятные запахи, продуцируемые некоторыми сопутствующими микроорганизмами (актиномицетами, плесневыми грибами и т.д.). Водоросли косвенно влияют на вкус и запах воды, поскольку обогащают водоемы органическими веществами, являющимися субстратом для грибов и бактерий, продуцирующих запахи.

Причина сезонной нестационарности качества воды в наливных водоемах — гидрологические условия. Большие колебания уровня воды на отдельных водоемах в течение года (до 6...10 м) порождают нестабильность биоценозов, значительные изменения их видового состава, численности и биомассы, а также повышение мутности воды. Содержание кислорода и фитопланктона в них связано не только с сезонными, но и суточными колебаниями. Ветровые волнения взмучивают донные отложения и перемещивают планктоносодержащие слои, создавая случайные колебания содержания взвешенных частиц. Использование эвтрофированных водоемов в качестве источников

централизованного водоснабжения требует специфики подбора технологий и сооружений водоочистки.

Примеси I—III групп (по Л.А. Кульскому [23]), поступающие на очистные сооружения из эвтрофированных водоемов, могут быть удалены при правильном подборе типовых сооружений многоступенчатой схемы очистки. Часто при проектировании и эксплуатации станций водоочистки не учитывают влияние на технологический процесс воздействий, обусловленных эвтрофностью водисточников. Ориентация технологии водообработки при проектировании на максимальные значения ингредиентов качества исходной воды вызывает не только резкое повышение капитальных и эксплуатационных затрат, но и нарушение нормативного качества питьевой воды в экстремальных условиях. При ориентации на более тяжелые условия функционирования системы комплекс сооружений проектируют с конструктивно-технологическим запасом. Поэтому сооружения большую часть года функционируют в нетипичных условиях и нерационально обрабатываемая вода транзитом проходит через первую ступень с основной грязевой нагрузкой на скорые фильтры.

Наличие в воде минеральной и органической полидисперсной (1 мм...60 мкм) взвеси создает напряженный режим работы всех элементов технологической схемы водоприема и водообработки. Частично эта проблема решается извлечением фитопланктона на микрофильтрах [19, 23]. Микрофильтры задерживают 50...70 % водорослей в период летнего «цветения». Высокий эффект удаления синезеленых водорослей обусловлен большими размерами колоний и наличием слизистой оболочки. Но слизь, хорошо приликая к сетке, ухудшает режим промывки, увеличивает расход воды на промывку микрофильтров. Отрицательно на их режим работы влияет химическое зарастание сеток, загрязнение волокнистым материалом и рост биопленки.

Извлечение фитопланктона из воды достигается также осаждением с последующим реагентным фильтрованием. В работе отстойников и осветлителей с взвешенным осад-

ком особые трудности создают синезеленые водоросли, так как наличие у них газовых вакуолей способствует флотации хлопьев. Опыт Восточной водоочистной станции Москвы показал, что в отстойниках при дозе сернокислого алюминия 12...30 мг/л осаждалось от 8 до 38 % фитопланктона. В результате исследований установлено, что оставшиеся после отстойников клетки фитопланктона кольматируют верхние слои фильтрующих загрузок, отчего резко растут потери напора, снижается продолжительность фильтроцикла, увеличивается количество промывок и как следствие снижается производительность водоочистного комплекса. Слизь фитопланктона склеивает зерна загрузки, нарушая равномерность фильтрования по площади фильтров. При регенерации образуются непромывные зоны с накоплением органических веществ, способных разлагаться и ухудшать качество воды.

Применение реагентной обработки воды эвтрофированных водоемов является одной из причин ухудшения качества очищаемой воды и работы очистных сооружений. В условиях изменения химического состава воды вводимые коагулянты снижают ее щелочной резерв. Известно, что при низких температурах замедляются процессы хлопьеобразования и седиментации. Рыхлые крупные хлопья, поступающие с водой на фильтры, кольматируют верхние слои загрузки, в фильтрате увеличивается остаточный алюминий. В период весеннего и осеннего «цветения» водоема при низких температурах воду коагулируют повышенными дозами сернокислого глинозема с параллельным подщелачиванием известью, вводят флокулянты, замутнители.

Воду, поступающую на фильтры из нижних слоев эвтрофированного водоисточника, где в анаэробных условиях протекают восстановительные процессы, насыщают кислородом. При наличии в воде соединений железа и марганца последние окисляются и задерживаются в фильтрующей толще, резко снижая ее грязеемкость. Технология водоподготовки усложняется также ухудшением органолептических показателей, связанных с поступлением низкомолекулярных и легкоокисляющихся продуктов

анаэробного разложения [26]. Эффективность обеззараживания воды в период интенсивного развития синезеленых, особенно *Microcystis*, обладающих слизистой оболочкой, в которой живут бактерии-спутники, снижается. Их слизистая играет роль барьера, препятствующего проникновению хлорагентов в колонию. Кроме того, наличие в воде неспорозных, слизиобразующих бактерий, способных прилипать к оболочке водорослей, также затрудняет их инактивацию. В планктонном комплексе более высокой хлорустойчивостью обладают зеленые водоросли.

В период интенсивного развития водорослей основная трудность связана не столько с их удалением, сколько с вторичным загрязнением воды в технологической системе. Ухудшение ее качества продуктами жизнедеятельности и деструкции погибших водорослей требует повышенных доз хлора при первичном хлорировании. В этом случае в воде неизбежно образуются канцерогенные галогенорганические соединения [19, 21, 23, 25, 26]. Среди хроматографически идентифицированных галоидалканов ведущая роль принадлежит хлороформу, значение которого в определенных условиях увеличивается до 200 мкг/л. Концентрацию хлороформа, как и других галогенорганических соединений, многие авторы связывают с дозой хлора, многокомпонентностью органического вещества в исходной воде, рН, содержанием планктона. Характерно, что концентрация этих соединений находится в экспоненциальной зависимости от концентрации гуминовых и фульвокислот, а также от начальной дозы вводимого хлора. Исследователи рекомендуют исключить первичное хлорирование или максимально сократить время пребывания воды в сооружениях после такого хлорирования.

В.М. Нежлукченко на Ингулецкой ВОС проследил динамику образования хлороформа по всем звеньям технологической линии. Доза первичного хлора составляла 9, вторичного — 0,5 мг/л. Хлор вводили перед смесителем и после скорых фильтров. В камере хлопьеобразования концентрация хлороформа в воде достигала 90, на выходе из отстойника — 120, в фильтрате — 160 и после вторичного хлорирования в резервуаре чистой воды — 198 мкг/л. По-

лученные результаты показали, что традиционные технологические процессы на водоочистных сооружениях не препятствуют образованию хлорорганических соединений. Эта задача остается актуальной и требует новых подходов к ее решению.

Серьезная проблема — обработка и утилизация осадков после промывки фильтров и отстойников. Таким образом, сложность функционирования технологических систем водоподготовки в условиях эвтрофированных водоемов, с одной стороны, обусловлена нестационарностью качества поступающей воды, связанной с аллохтонным и автохтонным загрязнением водоемов, с другой — многозвенностью водоочистных комплексов и недостаточной гибкостью в использовании эффективных технологических приемов.

Интенсифицировать и повысить эффективность осветления предварительно отстаиваемой воды из эвтрофированных водоемов (водохранилищ) после ее коагулирования и образования в ней взвеси, содержащей в основном растворенную органику, адсорбированную на гидроокислах металла-коагулянта, позволяет нередко применение флотации [14]. Легкая хлопьевидная взвесь при флотации, вследствие выделения на ней из воды микропузырьков воздуха, всплывает со скоростью до 12...16 м/ч и собирается на поверхности в виде пенного слоя. Выделение микропузырьков, обеспечивающее флотационное осветление воды, обычно достигается подмешиванием к ней части воды, пересыщенной растворенным воздухом в результате насыщения ее под избыточным давлением от 0,4 до 0,8 МПа.

Плотность всплывающих хлопьев зависит от количества и размеров пузырьков воздуха в них и оказывается значительно меньше плотности воды, особенно при удалении из нее легкой, плохо осаждающейся взвеси. Это позволяет осветлять такие воды с большей скоростью 5...10 м/ч (против 1...2 м/ч при отстаивании) в сооружениях значительно меньшего размера [15, 16]. Поскольку при флотации отпадает необходимость в получении крупной и плотной хлопьевидной взвеси, заметно уменьшается по-

требность в коагулянтах (на 20...40 %) и особенно — флокулянтах (на 50...100 %).

Важным преимуществом флотации является ее известная селективность в удалении из воды полярных органических загрязнений. В частности, ПАВ, окисленные нефтепродукты, фенолы и другие, избирательно концентрируясь на поверхности всплывающих микропузырьков (30...100 мкм) воздуха при флотации, движутся вместе с всплывающей взвесью к поверхности воды, где и происходит их концентрирование в пенном слое. Флотация обеспечивает минимальный контакт очищаемой воды с удаленными из нее загрязнениями, которые в виде пенного слоя непрерывно или периодически удаляются с ее поверхности. Это особенно важно при предварительной окислительной обработке (хлором или озоном) воды, содержащей планктон. Под действием такой обработки происходит разрушение его клеток, выделение клеточного вещества в воду, вызывающее привкусы и запахи в ней и обогащающее ее растворенной органикой, которая при последующем обеззараживании воды хлором образует канцерогенные хлорорганические вещества. По исследованиям Л.Д. Ушакова [20], время такого контакта в отстойных сооружениях измеряется неделями, в фильтрах — часами, во флотаторах-фильтрах — минутами.

Сопутствующая этому процессу аэрация, а также частичная дегазация и дезодорация как очищенной воды, так и удаляемых из нее загрязнений улучшают ее органолептические показатели, а также способствуют протеканию бактериального самоочищения воды как на этой, так и на последующих ступенях очистки воды. Аэрация удаляемых загрязнений препятствует возникновению в них анаэробных гнилостных процессов, вызывающих неприятные привкусы и запахи. К преимуществу флотационной очистки такой воды можно отнести предварительное обезвоживание и уплотнение пенного слоя взвеси, находящегося выше поверхности воды. Пена при механическом удалении ее с поверхности воды во флотаторе имеет влажность 97...98 % и без дополнительного уплотнения способствует загниванию осадка, требуя сразу подачи на механическое обезвоживание.

Для выбора оптимальной области применения флотационного осветления природной воды Английским водным исследовательским центром были проведены испытания флотации и отстаивания на природных водах с различными загрязнениями [16, 18]. При этом использовали транспортабельные флотационные установки полной заводской готовности производительностью $100 \text{ м}^3/\text{ч}$, которые были установлены на действующих водопроводных станциях, отбирающих воду из источников различного типа. При испытании на речной воде с высокой и сильно меняющейся мутностью от 3 до 160 ед и до 1000 мг/л взвеси, с цветностью от 10...20 до 70° ПКШ в паводок флотатор с нагрузкой $12 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ успешно конкурировал с осветлителями со слоем взвешенного осадка, работавшими с нагрузкой $2 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ при мутности до 60...100 мг/л. Однако при высокой мутности качество воды осветлителей улучшалось, а флотаторов ухудшалось, что требовало для получения того же качества воды снижения нагрузки на последние до 9...10 $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$.

Иная картина получена на маломутной высокоцветной воде из эвтрофированного водохранилища, содержащей железо, алюминий, марганец в концентрациях 0,2...0,8; 0,2...0,3; 0,3 мг/л соответственно. Флотатор постоянно эксплуатировали с нагрузкой $10 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$. При этом осветлители из-за низкой плотности образующихся при коагуляции этой воды хлопьев, несмотря на применение флокулянтов, не могли работать с нагрузкой выше $1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ вследствие резкого ухудшения качества осветленной воды. Особенно неустойчиво осветлители работали на холодной воде при температуре $< 4^\circ\text{C}$, в то время как флотатор обеспечивал устойчивое качество воды независимо от ее температуры.

После флотатора осветленная вода имела мутность 0,7 ед, цветность — 2°, содержание железа — 0,58, алюминия — 0,01, марганца — 0,16 мг/л. Последующее фильтрование позволяло получать более очищенную воду. Образующаяся при обработке воды пена имела небольшую устойчивость, требуя практически непрерывного ее удаления с поверхности воды. Устойчивость пены существенно увеличивалась при применении флокулянтов.

Особенно эффективна обработка флотацией воды из сильно эвтрофированного водохранилища, подверженного в теплое время года сильному «цветению» с бурным развитием в нем синезеленых водорослей (до 300 тыс кл/мл). Обработка воды состояла из каскадного аэратора, коагуляции воды хлорированным железным купоросом, отстаивания и скорого фильтрования на двухслойных (антрацит + песок) фильтрах. Из-за низкого эффекта удаления водорослей отстаиванием они, поступая на фильтры, блокировали их поверхность, сокращая фильтроцикл; проскакивая в большой мере в фильтрат, сильно ухудшали его качество, что при неизбежном последующем обеззараживании хлорированием давало привкусы и запахи, подъем содержания хлорорганики. В табл. 3.3 приведены сравнительные данные по удалению различных видов водорослей флотацией и отстаиванием.

Удаление планктона только одной флотацией превышает совместное удаление отстаиванием и фильтрованием.

Таблица 3.3.

Удаление синезеленых водорослей флотацией и отстаиванием [15] (кл/мл)

Вид водорослей	Исходная вода	Вода, осветленная отстаиванием	Вода, осветленная отстаиванием и фильтрованием	Вода, осветленная флотацией	Вода, осветленная флотацией и фильтрованием
А	179 000 (100 %)	23 000 (12,8 %)	5 200 (2,9 %)	2 800 (1,6 %)	64 (0,036 %)
М	102 000 (100 %)	24 000 (23,5 %)	4 600 (4,5 %)	2 000 (2 %)	58 (0,06 %)

Примечание: (А – Афинизомекон; М – Микроцистис); определение видов водорослей А и М проведено в периоды их максимального развития.

Пена, полученная при очистке флотацией воды, содержащей планктон, обладала превосходной устойчивостью (плавала на воде 48 ч без разрушения), концентрация взвеси в ней достигала 3 % даже без уплотнения при ее непрерывном удалении. В экспериментальном порядке пена

без какой-либо дополнительной обработки была подвергнута обезвоживанию на фильтр-прессе, что позволило получить обезвоженный осадок толщиной 25 мм с влажностью 80...85 %. Аналогичные эксперименты в полупромышленном масштабе по флотационной очистке маломутной цветной воды Волжского водосточника (СВС г. Москвы), воды Воронежского водохранилища с высоким содержанием планктона (до 150 тыс кл/мл) и органических загрязнений, а также высокоцветной (до 150°) маломутной воды оз. Выг были проведены ВНИИ ВОДГЕО. Подтверждены значительная интенсивность, эффективность и экономичность процесса флотационного осветления воды по сравнению с отстаиванием, а также высокая степень концентрирования в пене (от 1,5 до 4 %) удаляемых из воды загрязнений.

К настоящему времени появилась тенденция к совмещению процессов предварительного флотационного и окончательного фильтрационного осветления воды в одном комбинированном сооружении — флотаторе-фильтре. Такая конструкция впервые была разработана и запатентована в Швеции и получила достаточно широкое распространение в Северной Европе при очистке высокоцветных холодных природных и доочистке сбросных вод, особенно нефтемаслосодержащих. В этом сооружении объем воды, обычно имеющийся над зернистой загрузкой скорого фильтра, используют в качестве зоны предварительного флотационного осветления коагулированной воды. При таком совмещении отпадает необходимость в отдельных сооружениях для предварительного осветления воды при относительно небольшом усложнении конструкции фильтров и увеличении их габаритов, что значительно сокращает стоимость строительства водоочистных сооружений, снижая их размеры в 3—4 раза. При этом появляется возможность переоборудования обычных скорого фильтров в сооружения для двухступенчатого осветления воды флотацией и фильтрованием, позволяя поднимать степень очистки воды на них, например от планктона, и снижая количество загрязнений, поступающих на загрузку фильтров, улучшить их технологические показа-

тели, повысить скорость фильтрования, увеличить продолжительность фильтроцикла между промывками, сократить количество стоков, образующихся при этом.

Работы в этом направлении ведут во многих странах. Показательны результаты, полученные в ЮАР, где из-за ограниченных водных ресурсов, высокого их хозяйственного использования и теплого климата источники водоснабжения сильно эвтрофированы. Здесь для оценки эффективности применения флотаторов и, в частности, флотаторов-фильтров для очистки природных вод от планктона и взвеси, наряду с широкими полупромышленными исследованиями по очистке их на моделях сооружений [18, 20] была проведена и крупномасштабная опытно-промышленная проверка с переоборудованием во флотатор-фильтр одного из восьми старых фильтров площадью 85 м^2 на водоочистных сооружениях Мзингази, получающих воду из сильно «цветущего» одноименного озера.

Исходная вода подвергалась коагуляции сульфатом алюминия дозой $10...15 \text{ мг/л}$ и прямооточному фильтрованию на однослойных кварцевых фильтрах со скоростью $3,5...4 \text{ м/ч}$. Это позволяло получать воду с мутностью не выше 1 ед, но с весьма коротким фильтроциклом и выходом очищенной воды за фильтроцикл $80...90 \text{ м}^3/\text{м}^2$; $10...12 \%$ этой воды затрачивалось на промывку загрузки. К фильтру, переоборудованному в опытно-промышленный флотатор, была проложена отдельная подводная линия, выполняющая роль гидравлической камеры хлопьеобразования. Также смонтирована система насыщения части фильтрованной (до $85 \text{ м}^3/\text{ч}$) воды растворенным воздухом под давлением до 400 кПа , состоящая из насоса, компрессора и сатуратора, загруженного кольцами Рашига. Опытное сооружение расположено на открытом воздухе и закрыто арочным перекрытием, чтобы исключить разрушение пены на его поверхности действием ветра. После выбора оптимальных условий смешения очищаемой воды с пересыщенным водовоздушным раствором и распределения их в боковом кармане флотатора-фильтра, составлявшего основную часть работы, были получены следующие результаты.

При сохранении нормированного качества очищенной воды применение предварительного флотационного осветления в фильтре позволило увеличить скорость фильтрования с 4 до 8 м/ч, т.е. удвоить его производительность и одновременно сократить удельный расход промывной воды и ее сброс в 4 раза. Устойчивость пены, образующейся при флотации, на поверхности воды в фильтре была так высока, что позволило совместить ее удаление с обратной промывкой фильтрующей загрузки без дополнительных затрат воды при этом.

Весьма эффективно применение флотации в сочетании с фильтрованием в специальном комбинированном сооружении флотаторе-фильтре со встроенной камерой хлопьеобразования, разработанном НИИ ВОДГЕО [20]. В этом сооружении пространство над фильтрующей загрузкой используется в качестве зоны предварительного флотационного осветления, а центральный канал выполняет роль встроенной вихревой камеры хлопьеобразования — песколовки. Наличие во флотаторе-фильтре встроенной камеры хлопьеобразования, совмещенной с входной камерой флотатора, создает оптимальные условия для коагуляции загрязнений и хлопьеобразования в осветляемой воде, позволяя повысить эффект очистки воды флотацией и сократить расход коагулянта.

На рис. 3.10 показаны вертикальный и горизонтальный разрезы флотатора-фильтра. Он состоит из корпуса 1 с центральным каналом 2. Вверху на боковых стенах корпуса размещены лотки 3 с наклонными аппаратами для сбора флотационной пены с помощью вращающихся лопастных барабанов 4. В верхней части центрального канала по его оси размещен перфорированный трубопровод 5 для распределения осветляемой воды, к которому под углом один к другому примыкают две наклонные продольные перегородки 6, образующие первую ступень 7 (с нисходящим движением воды) вихревой коридорной камеры хлопьеобразования, а со стенками 8 — центрального канала и установленными на них направляющими перегородками 9 и вторую ее ступень 10 (с восходящим движением воды), выполняющую роль входной камеры фло-

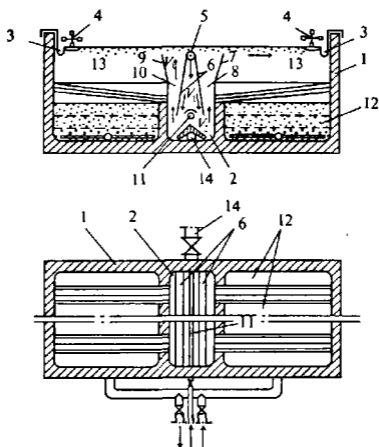


Рис. 3.10. Флотатор-фильтр, совмещенный с камерой хлопьеобразования

татора. Между нижними концами перегородок 6 размещен перфорированный трубопровод 11 с экранированными сверху отверстиями, распределяющими пересыщенный водовоздушный раствор вдоль центрального канала. Справа и слева от центрального канала находятся две секции 12 скорого фильтра с гравийными поддерживающими слоями и высоким отводом промывной воды системой желобов. Пространство над фильтрующей загрузкой 13 выполняет роль флотационных камер для предварительного осветления воды.

Флотатор-фильтр работает следующим образом (см. рис. 3.10). Осветляемая вода с реагентами (коагулянт, при необходимости — известью и флокулянт), введенными в нее в отдельном статическом смесителе, установ-

ленном на подводящем трубопроводе, поступает через перфорированный трубопровод 5 (скорость выхода $V_1 = 1,5...2$ м/с) в первую ступень с нисходящим движением воды 7 вихревой коридорной камеры хлопьеобразования. Здесь в воде образуется большое количество микрохлопьев — «зародышей», обладающих большой удельной поверхностью, высокой адгезионной и сорбционной способностью, а также стойких, вследствие малых размеров, к большим градиентам скоростей. На выходе из первой ступени поток воды меняет направление движения на противоположное. Под действием возникающих при этом центробежных сил осветляемая вода освобождается от крупной быстроосаждающейся взвеси (песчинок диаметром $> 0,1$ мм), которая скапливается на дне центрального канала. При этом в осветляемую воду из перфорированного трубопровода 11 вводят пересыщенный водовоздушный раствор, полученный из части очищенной воды. Вследствие этого вторая ступень вихревой камеры хлопьеобразования 10 с восходящим движением воды одновременно выполняет функции входной камеры флотатора. В ней происходят процессы агломерации микрохлопьев и десорбции воздуха из пересыщенной им воды на поверхности микрохлопьев и адгезии к ним пузырьков воздуха, выделившихся в объеме воды.

Присутствие микропузырьков воздуха ускоряет процесс агломерации микрохлопьев, как вследствие гидрофобизации их поверхности пузырьками воздуха, так и в результате усиления гравитационной коагуляции всплывающими пузырьками воздуха. Поэтому на выходе такой камеры хлопьеобразования, несмотря на ее относительно малые размеры, образуются достаточно крупные быстро всплывающие хлопья-флотоагрегаты, содержащие микропузырьки воздуха как на поверхности, так и внутри хлопка. Вода с флотоагрегатами проходит над направляющими перегородками 9 и поступает в камеры флотационного осветления воды 12, где происходит отделение флото-агрегатов и сбор их на поверхности в виде движущегося к периферии слоя пены. Пену непрерывно или периодически удаляют вращающимися барабанами 4

с резиновыми лопастями по криволинейным аппаратам в лотки 3. Возможны варианты удаления пены без применения механического устройства либо путем периодического кратковременного подъема уровня воды в сооружении и сброса ее вместе с накопленной пеной в лотки 3, либо накопления пены и удаления ее вместе с промывной водой при обратной промывке фильтрующей загрузки.

Для сбора пены и нормальной работы всего устройства флотатор-фильтр оборудован регулятором скорости фильтрования для поддержания постоянного уровня воды в нем. По исчерпанию гряземкости фильтрующей загрузки флотатор-фильтр выключают из работы (прекращают подачу осветляемой воды, а уровень воды в сооружении срабатывают до кромок сборных желобов) и промывают восходящим потоком осветленной воды с обеспечением требуемого расширения загрузки. Промывную воду собирают с поверхности загрузки системой сборных желобов и отводят в центральный канал, где она смывает и транспортирует накоплению на его дне взвесь по трубопроводу 14 в резервуар-отстойник для сбора, осветления и повторного использования промывных вод. Нагрузка на площадь флотационной камеры во флотаторе-фильтре определяется скоростью фильтрования, а высота флотационной камеры — высотой слоя воды над фильтрующей загрузкой, обеспечивающей необходимый для работы фильтра напор.

Вариант конструкции флотатора-фильтра (проекты ГПИ Харьковский Водоканалпроект) отличается тем, что в нем применена крупнозернистая фильтрующая загрузка с ее водовоздушной промывкой и низким отводом промывной воды. Флотаторы-фильтры в условиях их применения на воде из эвтрофированных водоемов более эффективны по сравнению с обычными скорыми фильтрами и по глубине очистки воды (в том числе и по микрозагрязнениям), и по экологическим показателям — минимальному расходу реагентов на очистку воды, минимальному изменению ее состава и количеству образующихся при этом отходов.

Литература к гл. 3

1. Шевелев Ф.А. Орлова Г.А. Водоснабжение больших городов мира – М.: Стройиздат, 1987.
2. Knoppet P.L. An overview of European Water Treatment Practice. JAWWA, v. 72, N72, Nil, 592...599, 1980.
3. Sontheimer H. Applying Oxidation and Adsorption Technologies. A Summary of Progress. JAWWA, v. 71, Nil, 612...617, 1979.
4. Sontheimer H. The European Experience. Design Criteria and Process Schemes for G.A.C Filters. JAWWA, v. 71, Nil, 618...622, 1979.
5. Heiker E.S. The Mulheim Process for Treating Ruhr River Water. JAWWA, v. 71, Nil, 623...627, 1979.
6. Shalekamp M. The of G.A.C. Filtration to Ensure Quality in Drinking Water From Surface Sources. JAWWA, v. 71, Nil, 638...647, 1979.
7. Bablon G.P. Developing a Sand-G.A.C. Filter to Achieve High-Rate Biological Filtration. JAWWA, v. 80, N12, 47...53, 1988.
8. Servais P. Microbial Activity in G.A.C. Filters at The Choisy-Leroi Treatment Plant. JAWWA, v. 83, N2, 63...68, 1991.
9. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. – М.: Высшая школа, 1978.
10. Rittman B.E. and Snoeyink V.L. Achieving Biologically Stable Drinking Water. JAWWA, v.76, N10, 76...82, 1984.
11. Bourver T.J. and Corve P.B. Biological Processes in Drinking Water Treatment. JAWWA, v.80, N9, 82...93, 1988.
12. Bruchet Aug. Variation in Organic and Organoleptic Water Quality During Treatment of Artificially Recharged Ground Water. JAWWA, v.83, N3, 1991.
13. Heinanen J. Use of Dissolved-Air Flotation in Potable Water Treatment in Finland. Aqua Feunica, v.18, N2, 113...123, 1988.
14. Лейбовский М.Г., Ушаков Л.Д. Современное оборудование для флотационной очистки воды. – М.: Обз. инф. ЦИНТИ Химнефтемаш, 1978.
15. Zabel T. The Advantages of Dissolved-Air Flotation for Water Treatment. JAWWA, v.77, N5, 42...46, 1985.
16. Range Bure W.F. Algae Removal Using Dissolved-Air Flotation. Journ. of WPCF, v.47, N1, 153...169, 1975.
17. VanVunren L.R.J. Treatment Water from Euyrophied Impoundments. Aqua, N1, 0351...0360, 1980.
18. Vosloo P.B.V. Pilot and Full Scale investigation on the Use of Combined Dissolved-Air Flotation* and Filtration (D.A.F.) for Water Treatment. Water Pollution Contr. V.85, N1, 114...121, 1986.
19. Технические записки по проблемам воды, Т. 1, 2. – «Дегремон» / Пер. с фр. яз. I, II, III. М.: Стройиздат, 1980.

20. Ушаков Л.Д. Комбинированное сооружение для очистки воды флотатор-фильтр. Экспресс-информ. ЦБНТИ Минводхоза СССР. Сер. 4. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. 1987. – Вып. 5.
21. Нежлукченко В.М. Интенсификация реагентной очистки воды из водохранилищ регулированием адгезионных процессов / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Херсон, 1993.
22. Булава М.Н., Кудин С.М. Водозаборные и гидротехнические сооружения. – Киев: Виша школа, 1974.
23. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. – Киев: Наук. думка, 1983.
24. Кульский Л.А. и др. Методы улучшения запаха и вкуса питьевой воды. – М.: МЖКХ РСФСР, 1968.
25. Руденко Г.Г., Горюновский И.Т. Удаление примесей из природных вод на водопроводных станциях. – Киев, Будивельник, 1976.
26. Ткач А.А. Исследования по регулированию процессов очистки воды в условиях интенсивного цветения источников водоснабжения / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1979.

ГЛАВА 4. КАНАЛЫ И БИОПЛАТО С ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ

4.1. Конструкции водозаборно-очистных сооружений

Водопроводные каналы по способу подачи воды могут быть безнапорными (самотечными) с открытым зеркалом воды, напорными (вода транспортируется за счет давления, создаваемого насосами или при разности геодезических отметок в источнике и у водопотребителя) и комбинированными – самотецио-напорными. Открытые водопроводные каналы обычно выполняют функцию обводнительных (иногда – оросительных) для больших территорий без природных источников водоснабжения (Большой Ставропольский, Днепр–Донбасс, Иртыш–Караганда и др.). В конце трасс каналов создают запасные водохранилища на случай аварийных или ремонтных остановок каналов. Качество воды в каналах по пути ее движения обычно ухудшается: увеличиваются общее солесодержание, окисляемость, бактериальные загрязнения.

Специфика водоотбора из каналов обусловлена относительно небольшой их глубиной (3...4 м), необходимостью борьбы с водорослями, травой и листьями, поступающими с окружающих территорий, перемерзанием зимой и др. Перепад уровней воды в каналах в течение года больше 1...1,5 м нежелателен, а скорость движения воды в них должна быть 0,5...0,8 м/с [4, 6]. Водозаборные сооружения из каналов при отборе воды до 10...15 % от расчетного расхода канала устраивают без дополнительных регулирующих сооружений. При $Q_{отб} \geq (15...25\%) Q_{кан}$ в состав водозаборного комплекса входят шлюзы-регуляторы. Рационально водоприемные элементы водозаборов из каналов объединять с насосными станциями первого подъема. Примеры инженерных решений и конструкций водозаборов из каналов приведены на рис. 4.1...4.3.

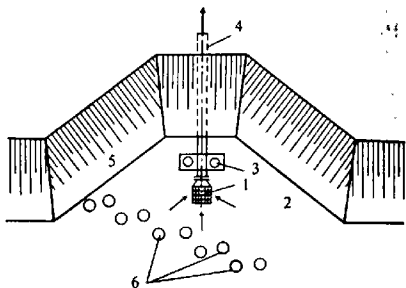


Рис. 4.1. Трубчатый водозаборный оголовок в затоне канала:

1 — трубчатый раструбный оголовок; 2 — затон; 3 — свайная опора; 4 — самотечный (или напорный) трубопровод; 5 — откосы затона; 6 — свайная ограда

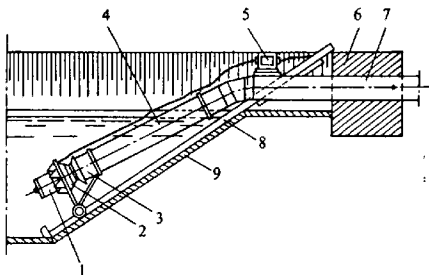


Рис. 4.2. Водозабор с осевым насосом на береговом откосе канала:

1 — электродвигатель; 2 — насос; 3 — диффузор; 4 — напорный трубопровод; 5 — пульт управления; 6 — бетонный упор; 7 — соединительный патрубок; 8 — швеллеры, уложенные на железобетонной плите откоса; 9 — железобетонные плиты откоса

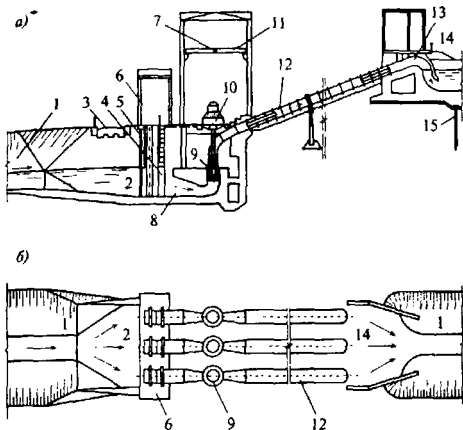


Рис. 4.3. Водозабор, совмещенный с насосной станцией, на канале Северный Донец—Донбасс:

а) — продольный разрез по оси канала; б) — план узла водозабора; 1 — водопроводный канал; 2 — аванкамера; 3 — служебный мостик; 4 — водоприемное окно с сорозадерживающим устройством; 5 — заборная перегородка; 6 — камера обслуживания сорозадерживающих сеток; 7 — грузоподъемное устройство; 8 — всасывающая труба; 9 — вертикальный пропеллерный насос; 10 — электродвигатель; 11 — мостовой кран; 12 — напорный водовод; 13 — сифон; 14 — водоприемный бассейн; 15 — шпунтовая стенка

4.2. Формирование качества воды в каналах

По требованиям к качеству воды и назначению каналы разделяются на водопроводные, обводнительные, оросительные, осушительные, судоходные, лесосплавные, рыбноводные, подводящие и отводящие, водосбросные (при плотинах). Различные водопотребители и водопользова-

тели предъявляют к качеству воды разные требования. В водопроводных и обводнительных каналах должно обеспечиваться соблюдение нормативов качества воды для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Концентрации всех загрязняющих примесей не должны превышать предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в водных объектах хозяйственно-бытового водопользования с учетом аддитивности действия этих примесей.

Фитопланктон и нитчатые водоросли существенно воздействуют на прозрачность воды, кислородный режим, БПК, бактериологические показатели. Биогенные вещества обуславливают интенсивность процессов первичного продуцирования органического вещества. В оросительных каналах основное значение имеют минерализация и ионный состав. Качество воды в каналах комплексного назначения, обеспечивающих орошение и хозяйственно-питьевое водоснабжение, регламентируется нормативами хозяйственно-питьевого или рыбохозяйственного использования.

Формирование качества воды в водных объектах обусловлено поступлением загрязняющих веществ извне, внутриводоемными процессами самоочищения и биологического самозагрязнения в результате массового развития гидробионтов. Основными источниками загрязнения в системах межбассейновых перебросок стока являются хозяйственно-бытовые, промышленные, сельскохозяйственные сточные воды, рассеянный сток с прилегающих территорий (особенно с сельскохозяйственных угодий), флота, переработка берегов и руслоформирующие процессы, донные отложения, массовое развитие фитопланктона («цветение» воды), обрастание откосов каналов и стенок водоводов.

Каналы, как правило, защищены от поступления загрязняющих веществ извне. В них не предусмотрен спуск сточных вод поселений, промышленных и сельскохозяйственных предприятий. От поверхностного стока они обычно изолированы дамбами, дюкерами, акведуками. В отличие от рек, водохранилищ и озер трансформация

Таблица 4.1.

Источники загрязнения воды в каналах [1]

Загрязнение	Характеристика качества воды, по которому возможно ухудшение
Фитопланктон («цветение» воды)	Органические вещества, взвешенные вещества, бактериопланктон, привкусы и запахи, кислород, фенолы, альготоксины, цветность
Фитообрастания (нитчатые водоросли)	Органические вещества, бактериопланктон, привкусы и запахи
Переработка ложа и берегов	Взвешенные вещества
Донные отложения	Взвешенные вещества, органические и биогенные вещества, кислород, бактериопланктон, привкусы и запахи
Грунтовые воды	Минерализация, компоненты ионного состава
Рассеянный сток с прилегающих территорий	Взвешенные вещества, токсические вещества (пестициды), органические и биогенные вещества, минерализация, компоненты ионного состава
Флот	Нефтепродукты

состава и свойств воды в них зависит в основном от внутриводоемных процессов самоочищения и самозагрязнения и в меньшей мере от поступления загрязняющих веществ с прилегающих территорий (табл. 4.1).

На хозяйственно-питьевых каналах (водопроводный им. Москвы, Северный Донец–Донбасс) созданы зоны строгой санитарной охраны. Иногда каналы на отдельных участках прокладывают по руслам рек, принимая в себя малые реки (Иртыш–Караганда). Вода в них может содержать загрязняющие примеси. Основным источником ухудшения качества воды при транспортировании по каналам является биологическое загрязнение в результате

массового развития и отмирания планктонных («цветение» воды) и бентосных (обрастание откосов) водорослей. Особенно подвержены биологическому загрязнению каналы, берущие начало из равнинных рек и водохранилищ на них (Волга—Увель). В них условия для массового развития водорослей наиболее благоприятны (достаточная прозрачность воды, обилие биогенных веществ, малые скорости течения). Загрязнение воды каналов, рек и водохранилищ — органическими и биогенными веществами, поступающими со сточными водами или при смыве удобрений с полей, — нередко вызывает массовое развитие фитопланктона и в самих каналах. Учет «цветения» как внутриводоемного источника загрязнения воды органическим веществом может быть количественно оценен связью биомассы планктонных водорослей с нормируемым показателем — биохимическим потреблением кислорода (БПК) [5].

Установлено, что прирост полного БПК_п от 1 мг/л биомассы планктонных синезеленых водорослей при массовом их развитии исходя из соотношения их биомассы и сухой массы (2,2: 1) при зольности 5 % может составлять 0,65 мг O₂/л или БПК₅ = 0,46 мг O₂/л (при БПК₅ = 70 % БПК_п). Для диатомовых водорослей прирост БПК от единицы биомассы при зольности в среднем 33 % и соотношении сухой массы к биомассе, равном 0,49: БПК_п = 0,49, БПК₅ = 0,34. Для *Stephanodiscus hantzschii*, у которого зольность выше (40 %), а отношение сухой массы к биомассе составляет 0,41, БПК_п = 0,37, БПК₅ = 0,26 мг O₂/л. Для хлорококковых водорослей (из зеленых), биомасса которых в 2,6 раза превышает сухую массу, а зольность равна 22 %, возможный прирост БПК_п от 1 мг/л составляет 0,44, а БПК₅ — 0,31 мг O₂/л.

Один из наиболее существенных источников биологического загрязнения в каналах — «цветение» воды, вызываемое диатомовыми водорослями. В отличие от синезеленых планктонные диатомовые, в основном *Stephanodiscus hantzschii*, не только могут поступать в каналы из водоисточников, но и интенсивно развиваться в самих искусственных водотоках. Первично продуцентами органи-

ческого вещества в каналах являются высшие водные растения. Они играют большую роль в процессах самоочищения: извлекают из воды различные вещества, обогащая воду кислородом, способствуют ее очистке от растворенных органических веществ, нефтепродуктов, фенолов, осаждают взвеси. Но в процесс разложения их фитомассы есть опасность ухудшения качества воды по гидрохимическим и бактериологическим показателям.

Источниками загрязнения в каналах являются и переработка ложа и размыв донных отложений. Переформирование ложа необлицованных каналов приводит к увеличению мутности транспортируемой воды. В облицованных каналах формируются донные отложения, обогащенные органическим веществом за счет неразложившихся остатков обрастаний. Так, в канале Северный Донец—Донбасс за 20 лет эксплуатации откосы практически залились на толщину отложений в несколько десятков сантиметров. Их образованию способствуют развивающиеся на откосах нитчатые водоросли, осаждающие взвешенные вещества. Источником повышения общей минерализации воды и содержания отдельных компонентов ионного состава (сульфатов, хлоридов и др.) в каналах могут быть высокоминерализованные грунтовые воды при их поступлении в канал. Конструктивные и технологические параметры каналов в значительной мере определяют не только процессы биологического загрязнения, но и процессы самоочищения от органических примесей, нефтепродуктов, фенолов. Характер русла каналов обуславливает уровень первичного продуцирования и направленность минерализации органических веществ [8].

Водам в необлицованных каналах свойственна интенсивная и полная минерализация органических веществ, заканчивающаяся процессом нитрификации, вследствие чего накопления их в воде и грунтах не наблюдается. В облицованных каналах процессы бактериальной деструкции малоактивны. Распад органических соединений протекает в них медленно и неполно. В большинстве случаев он приостанавливается на стадии аммонификации. Кроме того, в таких каналах при разложении значительное место

занимает трансформация органических веществ с образованием трудноокисляемых соединений, приводя к повышению их концентрации в воде и иловых отложениях. При трансформации части разлагающегося органического вещества в гумусовые соединения возрастают цветность и бихроматная окисляемость воды.

4.3. Роль высших водных растений и зоопланктона в улучшении качества воды

Управлять качеством воды в каналах по содержанию в ней биогенных элементов можно: предотвращением поступления сточных вод в водоисточники по трассе каналов, включая смыв с сельскохозяйственных угодий; противопланктонной защитой головного водозабора, уменьшающей обогащение воды биогенными элементами в результате их регенерации при разложении массы синезеленых водорослей; использованием высшей водной растительности (ВВР) — (биоплата); мероприятиями, способствующими захоронению биогенных элементов в донных отложениях, поддержанием стабильных уровней воды.

В формировании качества воды важную роль играют высшие водные растения: тростник, камыш, рогоз, рдест, сусак и др. [9...11]. Известно их применение для доочистки сточных вод предприятий легкой, металлургической, угольной промышленности, животноводческих комплексов, бытовых сточных вод [9]. Поглощая значительное количество биогенных элементов, высшие водные растения снижают уровень эвтрофикации водоемов. Они усваивают и перерабатывают различные вещества (фенолы, ДДТ), способствуя осаждению взвешенных и органических веществ; насыщают воду кислородом; создают благоприятные условия для нереста рыб и нагула молоди; интенсифицируют очистку воды от тяжелых металлов и нефтепродуктов за счет нефтеокисляющих бактерий. В присутствии высших водных растений в 3—5 раз быстрее разлагается нефть. Жизнедеятельность макрофитов спо-

способствует всплыванию нефтепродуктов, осевших на дно, и их разрушению. Даже при непрерывном поступлении в водоем нефтепродуктов в зарослях высших водных растений они присутствуют в значительно меньших количествах, чем на открытых плесах. Наиболее перспективны для очистки воды от нефти — камыш озерный и рогоз узко- и широколистный. Камыш озерный интенсивно очищает воду и от фенолов. Одно растение камыша массой 100 г способно извлечь из воды до 4 мг фенола. Помимо фенола поглощаются и его производные (пирокатехин, резорцин, ксилол и др.).

В процессах фотосинтетической аэрации макрофиты играют не меньшую роль, чем фитопланктон. Они способны накапливать в своем теле различные элементы. Так, сусак способен накапливать 7,52 мг фосфора на 1 г сухой массы. Камыш активно аккумулирует марганец, ирис — кальций, осока — железо, ряска — медь. В процессе минерального питания высшие водные растения в природных условиях поглощают и утилизируют в своих органах значительное количество веществ. В Кременчугском водохранилище *Phragmites communis* Trin накапливал в своих органах 206...670 кг/га, *Typha angustifolia* a — 308...449 кг/га азота [10]. Обязательным сбором фитомассы извлекаются биогены из водоемов и создаются условия интенсивного роста отавы. Собранную фитомассу можно использовать в сельском хозяйстве как дополнительный корм или органическо-минеральные удобрения. Высшие водные растения способны аккумулировать радионуклиды (цезий — 137, стронций — 90, кобальт — 60). Высшие водные растения утилизируют азот сточных вод предприятий по производству минеральных удобрений.

Исследования в биологических прудах очистных сооружений Черкасского ПО «Азот» показали, что прирост фитомассы водных растений особо интенсивен летом, когда рекомендуется собирать эти растения, изымая из прудов до 1500...1700 т биомассы сухого вещества растений. Химический анализ показал, что наибольшее количество азота поглощается растениями летом, когда сборы урожая зеленой массы содействуют извлечению из био-

прудов площадью 55 га до 39 т азота в год. В пересчете на азот аммонийный (наиболее ценное и эффективное удобрение) это составляет 113 т. Извлечение азота из сточных вод биологических прудов с помощью высших водных растений улучшает качество воды.

Не менее важна роль высших водных растений в регуляции «цветения» воды, поскольку заросшие макрофитами участки водоемов не «цветут». Это объясняется конкуренцией за биогенные элементы, поглощаемые высшими водными растениями. При валовом урожае фитомассы в воздушно-сухом веществе 40 т/га тростник обыкновенный выносит 600...650 кг/га азота, 400 кг/га калия, 200...250 кг/га фосфора, до 200 кг/га кальция, до 400 кг/га хлора, десятки килограммов натрия, магния и др.

Известно, что тростник обогащает кислородом не только воду, но и почву, на которой растет, способствуя усилению процессов окисления. Кислород циркулирует по полым стеблям и проходит в корни по воздухопроводящим побегам, а густые мочковатые водно-воздушные корни растений, как своеобразный механический фильтр, задерживают взвешенные в воде частицы и очищают от них воду. Очень ценна способность тканей тростника детоксицировать различные ядовитые соединения. Достаточно высокие концентрации аммиака, фенола, свинца, ртути, меди, кобальта, хрома не сказываются заметно на его росте и развитии. Тростник является также прекрасным субстратом для развития различных видов прикрепленных водорослей, участвующих в формировании качества природных вод. В обрастаниях высших водных растений в основном встречаются диатомовые, зеленые, в меньшей мере — синезеленые и другие водоросли. В большом количестве здесь обнаружены грибы, азотобактер, а также бактерии, способные разлагать крахмал и клетчатку. Вместе с водорослями эти микроорганизмы активно участвуют в самоочищении водоемов. Организмы перифитона очень чувствительны к качеству воды, поэтому многие из них используются для его биоиндикации. На более загрязненных участках каналов происходит замена одних видов водорослей другими с преобладанием зеленых и си-

незеленых. Накопление в водорослях различных элементов также используется для биоиндикации качества воды. Например, зеленые водоросли-обрастатели (мушочия, спирогира, зигнема, эдогониум) и диатомовые (табеллярия) быстро и весьма активно реагируют на наличие ртути в воде [10, 12].

Доказано, что высшие водные растения способны извлекать из воды относительно большие количества урана, радия, тория. В растениях тростника, произрастающего на участках, которые подвергаются воздействию загрязненных вод, накапливается к концу вегетации примерно в 4 раза больше железа, кальция — в 100 раз, магния — в 1,2, азота — в 1,5, фосфора — в 1,3 раза больше, чем в растениях, не подвергающихся влиянию сточных вод.

Большую роль в регуляции процессов размножения водорослей играет не только конкуренция за биогенные элементы, но и метаболиты высших водных растений, проявляющие фитонцидные свойства и угнетающие развитие водорослей. Макрофиты в процессе фотосинтеза насыщают воду кислородом, а также затеняют нижележащие слои воды, создавая неблагоприятные условия для жизнедеятельности синезеленых водорослей и образования первичной продукции фитопланктона. В прудах-накопителях Джумабазарского завода (Ташкентская обл.) для интенсификации биологической очистки сточных вод использовали лиственную телозеровидную, культивирование которой резко уменьшает количество клеток водорослей, вызывающих «цветение» воды [16]. При этом заметно изменялся химический состав и физические свойства сточных вод: снижалась окисляемость, отсутствовали все формы азота, значительно уменьшалось содержание фосфатов, появлялся растворенный кислород. Сточная вода после культивирования на ней этого растения становилась прозрачной и без запаха.

К концу вегетации содержание биогенов и других элементов минерального питания в зеленых органах высших водных растений уменьшается. Значительная часть этих элементов остается в отмерших остатках, часть «уходит» в корневую систему [9...12]. Поэтому, если требуется из-

влекать элементы различного происхождения для обессоливания и обезвреживания воды, важно зафиксировать момент, когда растения имеют максимальную концентрацию биогенов и других веществ в своих органах. Экспериментальный материал К.Б. Якубовского, А.И. Мережко, Н.П. Нестеренко [10, 11], представленный в табл. 4.2...4.5, указывает на большую селективность высших водных растений к химическим элементам.

Отмирая, высшие водные растения вызывают негативные явления. Так, на водохранилищах ГЭС при колебании уровня воды оставшиеся на мелководных осушенных участках макрофиты отмирают и при разложении выделяют в воду все аккумулированные ими органические вещества и зольные элементы, поскольку их минерализация протекает значительно интенсивнее, чем наземных растений. Это способствует быстрому возвращению минеральных соединений в водную среду, потреблению большого количества O_2 , значительному пополнению трофической базы водорослей [20]. Так, в Ивановском водохранилище отмирание высших водных растений на одном из плесов (площадь зарастания 2730 га) в воду дает до 35...37 тыс. кг органического вещества. Вследствие этого в зарослях тростника отмечается увеличение содержания фосфора, азота и железа в 2 раза по сравнению с чистой водой. Падает и содержание кислорода.

Таким образом, высшие водные растения могут играть существенную роль в снижении численности синезеленых водорослей, в первую очередь, в небольших водоемах, подверженных «цветению» при эвтрофировании. Эффективное использование их в качестве биофильтров и для удаления из водоема биогенных элементов и органики требует регулярной уборки фитомассы. Иначе после ее отмирания и разложения в водоеме происходит существенное обогащение воды органическими и биогенными веществами, а также илонакопление, что оказывает стимулирующее действие на «цветение» воды и усиление эвтрофирования. Оставшиеся заросли высших водных растений со временем снижают ценность водоемов в качестве нерестилищ, а участки водоемов заболачиваются.

Таблица 4.2

Химический состав некоторых высших водных растений в августе (% сухого вещества)

Объект исследования	Орган растения	Сухое вещество	Зола	Si	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl
Тростник обыкновенный	Листья	41,6	5,65	0,71	2,63	0,67	1,14	0,62	0,094	0,075	1,41
Тростник обыкновенный*	Стебли	27,6	4,8	1,13	1,03	0,54	0,87	0,37	0,024	0,06	1,03
	Метелки	42,5	4,95	0,84	1,88	0,6	0,96	0,48	0,097	0,03	0,76
Тростник обыкновенный*	Листья	44	5,97	0,87	2,39	0,57	1,13	0,46	0,050	0,03	0,92
	Стебли	32	3,80	1,2	0,64	0,53	0,8	0,31	0,018	0,04	0,27
Рогоз узколистный	Листья	22,6	7,90	0,14	2,34	0,62	1,4	1,31	0,114	0,66	2,16
Сусак зонтичный	Листья	14,6	15,98	0,31	2,6	0,63	5,15	1,64	0,197	0,41	3
Рдест пронзеннолистный	Листья	19,3	16,87	0,36	2,46	0,48	1,97	3,36	1,050	0,51	0,74
Частуха подорожниковая	Листья	15,1	10,83	0,12	2,85	0,68	2,93	1,92	0,240	0,32	1,37
Гречиха земноводная	Листья	21	8,27	0,12	2,39	0,71	1,81	1,9	0,280	0,05	0,47
Камыш озерный	Листья	22,4	5,64	0,27	1,62	0,48	1,53	0,64	0,130	0,33	0,98
Тростник обыкновенный	Листья	46,7	9,51	1,29	2,79	0,70	1,16	0,68	0,110	0,12	1,3
	Стебли	37,7	7,17	2,31	1,19	0,64	0,90	0,39	0,037	0,09	0,82
Рогоз узколистный	Метелки	44,7	5,15	0,82	1,9	0,66	0,98	0,51	0,063	0,03	0,7
	Листья	18,7	8,3	0,16	2,46	0,65	1,37	1,36	0,115	0,68	2

* Тростник из осушенной части водохранилища.

Таблица 4.3.

Химический состав некоторых высших водных растений в марте (% сухого вещества)

Объект исследования	Орган растения	Зола	Si	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe, (мг %)	Cl	Mn, (мг %)
Тростник обыкновенный	Сухой стебель	3,28	1,17	1	0,07	0,18	0,29	0,01	0,09	9,82	0,43	9,3
	Метелки	5,88	2,11	0,75	0,14	0,09	0,42	0,01	0,08	39,47	0,16	10,85
Рогоз узколистный	Сухой лист	2,84	0,13	1,38	0,09	0,1	0,95	0,04	0,08	9,12	0,08	30,23
	Сухой стебель	2,37	0,23	1,92	0,07	0,16	0,82	0,01	0,25	8,07	0,44	15,5
Рогоз узколистный	Колос	4,05	0,35	1,01	0,34	0,93	0,59	0,06	0,22	9,82	0,34	22,48
Камыш озерный	Стебли	2,94	0,55	0,36	0,1	0,08	0,7	0,04	0,03	9,82	0,25	48,84
Сусяк зонтичный	Сухой лист	5,36	0,73	1,47	0,15	0,13	1,44	0,07	0,14	29,12	0,3	17,21

Исследования выполнены в лаборатории биологии и химии растений МГУ им. М.В. Ломоносова

Таблица 4.4.

Биомасса тростниковых и рогозовых зарослей в различных условиях произрастания

Объект исследования	Условие опыта	Орган растения	Высота растения, см	Масса сырого вещества, г		Масса сухого вещества, г	
				на 1 м ²	т/га	на 1 м ²	т/га
Тростник	Водохранилище	Листья	180...260	768	7,7	345	3,5
		Стебли		2256	22,6	947	9,5
		Метелки		192	1,9	86	0,86
		Всего		3216	32,2	13,78	13,8
Рогоз узколиственный	То же	Листья + стебли	170...190	4876	48,76	1317	13,2
		Листья	450...480	1950	19,5	858	8,6
Тростник обыкновенный	В водоемах поймы реки	Стебли		7850	78,5	3454	34,5
		Метелки		200	2	88	0,9
		Всего		10000	100	4400	44
Рогоз узколиственный	То же	Листья + стебли	250...260	7176	71,76	1865	18,7

Таблица 4.5.

Вынос химических элементов с урожаем надземной массы растений, произрастающих в различных экологических условиях

Объект исследования	Условия опыта	Орган растения	Урожай фитомассы		N,	P,	K,	Na, кг/га	Ca,	Mg,	Cl,
			сырого вещества	сухого вещества							
Тростник обыкновенный	В зарне водохранилища	Листья	7,7	3,5	92	23,45	39,9	2,6	21,7	3,4	49,4
		Стебли	22,6	9,50	97,9	51,3	82,7	5,7	35,2	2,28	97,9
		Метелки	1,9	0,86	16,2	520	8,3	0,3	4,1	0,84	6,5
		Всего	32,2	13,80	206,1	79,95	130,9	8,6	60	6,52	153,8
Рогоз узколистный	То же	Листья	48,8	13,2	308,9	81,8	184,8	87,1	172,9	15	285,1
Тростник обыкновенный	В поймах рек	Листья	19,5	8,6	239,9	60,2	99,8	10,3	58,5	9,2	111,8
		Стебли	78,5	34,5	410,6	210,45	310,5	31	134,5	14,8	289,8
		Метелки	2	0,9	17,1	5,9	8,8	0,3	4,6	0,9	6,3
		Всего	100	44	667,6	276,5	419,1	41,6	197,6	24,9	407,9
Рогоз узколистый	То же	Листья	71,8	18,7	448,8	121,6	256,2	127,2	254,3	21,5	374

Отрицательно влияют зарастания высшими водными растениями водоемов на внутриводоемные процессы и повышенное испарение воды. Известно, что 1 м^2 зарослей тростника транспирирует с апреля по октябрь 1 м^3 воды. Испарение со свободной поверхности за тот же период составляет $400\text{--}700 \text{ л/м}^2$. Это является одной из причин усиления дефицита воды и ухудшения ее качества. Так, макрофиты дельты р. Селенги испаряют $90,5 \text{ млн м}^3$ воды, что соответствует суточному стоку реки в оз. Байкал.

Роль зоогидробионтов в процессах очистки сточных вод в значительной степени определяется их способом питания [2]. Питаясь бактериями, водорослями, взвешенными веществами, они способствуют осветлению воды. Зоогидробионты являются активными фильтраторами и седиментаторами. Кроме того, простейшие выполняют функцию индикаторов. По развитию тех или иных видов можно судить о качестве очистки воды. Активными седиментаторами являются многие спиралересничные и кругоресничные инфузории. Одна особь *Carchesium lachmani* при питании в течение 1 ч пропускает через свой организм около 30 000 бактерий, а колонии *Carchesium* состоят из многих тысяч особей. Седиментация присуща и другим представителям кругоресничных инфузорий. У многих сувоек (*Vorticella*) в течение малого отрезка времени тело заполняется пищеварительными вакуолями с бактериями. Седиментаторами являются и многие коловратки.

Фильтрация свойственна многим ракообразным, в том числе дафниям, личинкам комаров *Culex* и *Aporhates*, многощетинковым червям *Polucheeta*, а из рыб — толстолобику. При фильтрации животные пропускают сквозь имеющиеся у них мелкопористые структуры воду, используя для питания отцеженный материал. Фильтраторы зоопланктона снижают численность бактерий в прудах на 90%. При высокой численности дафний они за 1 сут могут профильтровать весь объем пруда. Скорость фильтрации воды и

погложительная способность ветвистоусых рачков столь велики, что за 1 сут они потенциально способны поглотить все бактерии, находящиеся в пруде. Практически этого не происходит из-за параллельного размножения бактерий.

Двухстворчатые моллюски (дрейссены, беззубки, перловицы) значительно влияют на химический состав воды. Прямое влияние выражается в усиленном потреблении кислорода в процессе дыхания, косвенное — в том, что в результате выедания ими фитопланктона снижается интенсивность фотосинтеза. В процессах самоочищения водоемов от органических веществ фильтраторы и седиментаторы играют роль потребителей первичной продукции. Они относятся к так называемому «мирному» зоопланктону и являются консументами первого порядка, в свою очередь, служа пищей хищным организмам зоопланктона и планктоноядным рыбам.

Еще одна группа гидробионтов, обитающая в биологических прудах и принимающая участие в доочистке сточных вод, — это водные грибы, обладающие гетеротрофным типом питания. Многие из них играют существенную роль в очистных сооружениях канализации. Здесь встречаются в основном плесневые многоклеточные грибы (из родов *Fusarium*, *Nematosporangium* и др.), но иногда развиваются и грибы с одноклеточным мицелием (Мисог) и дрожжи. Грибы активно используют органические вещества, способны усваивать трудноокисляемые и токсичные соединения, в частности фенолы. В некоторых случаях очистку сточных вод в аэротенках можно вести с помощью грибов. Концентрация активного ила при этом понижается до 0,2...0,3 г/л. Дрожжи в очистных сооружениях встречаются чаще всего при очистке сточных вод от производства дрожжей (при выращивании кормовых дрожжей на гидролизатах древесины, на углеводородах и т.д.). В сточных водах, богатых углеводами, углеводородами и органическими кислотами, дрожжи могут достигать значительного развития, способствуя процессам очищения этих вод. [9].

4.4. Влияние систем перекачки и транспортировки воды на ее качество

Одним из рациональных приемов регулирования качества воды в каналах является изменение режимов водоподдачи и скоростей потока в зависимости от сезона года и суточных режимов водоотбора. Для ограничения продуцирования органического вещества планктонными и бентосными водорослями в дневное время суток увеличивают расход воды на конкретных участках каналов. Этот же прием используют в летние периоды интенсивного развития фитопланктона. При чрезмерном скоплении водорослей и других видов загрязнений в местах водозабора следует предусматривать возможность отключения водоприемников из канала и перехода на водоснабжение из близко расположенных запасных наливных водоемов или водохранилищ (см. гл. 3). При выходе участков каналов на проектные мощности на стадии его строительства по участкам и в случаях сезонных отборов воды из них на орошение наблюдается существенная внутригодовая неравномерность расходов воды. В такие периоды на крупных магистральных каналах может наблюдаться снижение их расчетной производительности до 25%. Это приводит к усилению массового развития водорослей, отложений минеральных наносов, отмиранию донной растительности и в конечном счете к ухудшению качества воды. В таких случаях целесообразно имеющийся резерв пропускной способности каналов использовать для увеличения стока малых рек и восполнения запасов подземных вод (см. гл. 13).

Пополнение малых рек водопроводящими каналами может быть выполнено с небольшими затратами при совмещении отдельных участков трассы (или ее ответвлений) с руслами малых рек. Малые реки в зоне влияния канала пополняют в осенне-зимний период непосредственно попусками из канала, в летний период — частично попусками из канала, в основном же — из наливных водохранилищ, создаваемых специально для этой цели в зоне сопряжения пополняемой реки с водовыпуском канала. В ле-

риод уменьшения объема воды наливные водохранилища заполняют за счет резерва пропускной способности [25].

При использовании каналов в качестве источников водоснабжения немаловажна роль выбора места расположения головного водозабора на реке-доноре или акватории водохранилища. Основным условием, помимо гидрологических и гидрогеологических параметров их строительства, должно быть обеспечение минимально-возможного поступления в канал загрязняющих веществ: продуктов «цветения», наносов, органических природных и антропогенных (техногенных) ингредиентов.

В большинстве случаев качество воды поверхностного стока существенно хуже транспортируемого. Поэтому задачей водоохраны при трассировании каналов является защита их от загрязнения малыми реками, поверхностным стоком. Для этой цели применяют приканальные дамбы, дюкеры, акведуки, ливнепропуски. От выбора трасс каналов во многом зависит эффективность этих защитных мероприятий. Наибольшую изоляцию транспортируемой воды от поверхностного стока обеспечивает переброска воды по закрытым водоводам. Однако при закрытой переброске стока на большие расстояния в воде отмечается ухудшение гидрохимических и бактериологических показателей, возникает дефицит кислорода [26].

Различные конструкции водозаборов на реках, обеспечивающие защиту каналов от загрязнения взвешенными веществами, плавающими примесями, донными отложениями, подробно освещены в литературе [4...6, 27]. Эти сооружения характеризуются наличием струнаправляющих систем и размещением водоприемных окон на разной высоте, что обеспечивает забор воды с заданных горизонтов в необходимом гидродинамическом режиме.

В штиль и при небольшом волнении забор воды для обеспечения максимальной защиты от поступления синезеленых водорослей должен осуществляться из глубинных слоев, а при сильном волнении, шторме и некоторое время после него — из поверхностных. В таких ситуациях обычно используют послойные водозаборы. По данным исследований ВНИИ ВОДГЕО, скорость входа

воды в водозаборное отверстие, обеспечивающая минимальный подсос синезеленых водорослей, должна быть не более 0,1 м/с. Обеспечение забора глубинных слоев воды достигается размещением верха водозаборного отверстия на глубине $\geq 6...7$ м. Для уменьшения заиливания водозабора и защиты его от засорения донными наносами, а также по конструктивным соображениям низ водозаборного отверстия должен быть выше отметки дна на 1...2 м [6].

Создание таких сооружений сопряжено со значительными капитальными затратами. Кроме того, выход на заданные глубины требует строительства дорогостоящих водоводов большого сечения. В связи с этим реализация защиты от поступления синезеленых водорослей традиционными способами — путем создания глубинных водозаборов — нередко экономически нецелесообразна. Поэтому представляется естественным противопоставить этому источнику загрязнения не дорогостоящее стационарное сооружение, а дешевую конструкцию сезонного действия. Такая конструкция должна быть мобильной, легко монтироваться и демонтироваться и, главное, должна обеспечивать послойно регулируемую подачу воды из поверхностных или глубинных слоев в зависимости от динамических условий водохранилища. В качестве первого опыта такой конструкции для головного водозабора канала Днепр—Донбасс разработана противопланктонная понтонная защита [1].

Противопланктонный экран выполнен из пневмоткани и закреплен на цепи понтонов так, что обеспечиваются его погружение и всплытие с понтонной системой, а также допускается перемещение экрана относительно цепи понтонов для регулирования высоты водозаборного отверстия в любом из двух проектных положений конструкции — погруженном и наплавном (рис. 4.4). Глубина противопланктонного экрана 6...8 м, высота козырька защиты от волнового перехлестывания ≈ 1 м.

Мощным средством управления качеством воды могут служить насосные станции. Через агрегаты насосных станций проходит весь поток транспортируемой по каналу воды, что непосредственно влияет на ее качество. Прежде



Рис. 4.4. Противопланктонная защита канала Днепр—Донбасс:
а) — проектное положение; *б)* — рабочий момент вывода на акваторию

всего, насосные станции (и другие гидротехнические сооружения) являются эффективными аэраторами и смесителями, обеспечивающими периодическое полное перемешивание потока и усредняющими распределение концентраций загрязняющих примесей. Это особенно важно для потоков, характеризующихся определенной стратификацией ингредиентов в вертикальной или горизонтальной плоскости (например в каналах с береговым биоплато).

Насосные станции существенно воздействуют на планктонную подсистему, в том числе фитопланктон. Прохождение воды через насосные агрегаты сокращает биомассу планктонных водорослей, создавая возможность управления этим источником загрязнения воды в каналах. Влияние насосных станций на планктонные водоросли — следствие прямого механического воздействия гидродинамических усилий, возникающих в потоке, а также кавитационного и кесонного эффекта.

С увеличением напора эффективность воздействия насосных станций на фитопланктон каналов возрастает. Влияние низконапорных насосов (до 20 м) невелико. Значительно сокращаются количественные показатели фитопланктона при прохождении через насосные станции. Степень негативного воздействия зависит от состава фитопланктона. Замечено, что для синезеленых водорослей оно проявляется сильнее, чем для диатомовых [1].

Конструкция русла в сочетании с гидрологическим режимом (скорость течения, прозрачность воды) — один из основных внутриводоемных факторов управления качеством воды в каналах. Для приближения к гидравлически и технологически наивыгоднейшему поперечнику стремятся к созданию глубоких и узких русел каналов. Такие русла, кроме преимуществ от оптимизации пропускной способности, характеризуются повышенной транспортирующей способностью, что уменьшает заиляемость каналов. Но строительство узких и глубоких прорезей и их эксплуатация сложны.

Характеристики продукционно-деструкционных процессов в экосистемах каналов во многом определяются параметрами конструкции русла (шириной, глубиной и заложением откосов). В широком и мелком канале преобладает трофогенный слой, и как следствие — процессы самозагрязнения. В канале с той же площадью живого сечения, но глубоком и узком, напротив, развит трофолитический слой, где процессы самоочистки более интенсивны.

Экологические системы необлицованных каналов с земляным руслом и каналов, откосы которых облицованы твердыми покрытиями, существенно отличаются по условиям формирования качества воды, интенсивности и направленности процессов самоочистки и самозагрязнения. Наиболее распространена сравнительно дешевая облицовка земляных откосов щебнем (Северный Донец—Донбасс, Днепр—Кривой Рог, Днепр—Донбасс). Щебенчатое покрытие обеспечивает защиту русла от размыва, повышает устойчивость земляных откосов, позволяет увеличить среднюю скорость движения воды, но не обеспечивает противифльтрационную защиту каналов. В водоохранном аспекте этот тип крепления откосов нежелателен, ибо щебень служит хорошим субстратом для гиперпродукции обрастаний, способствующих самозагрязнению воды. Уменьшение отрицательного влияния щебенчатых облицовок русла на качество воды может достигаться повышением вдольбереговой скорости $\geq 0,5$ м/с.

Более дорогостоящая бетонная облицовка благоприятнее для обеспечения максимальной скорости движения

воды и создания минимального живого сечения канала. По влиянию на качество воды она практически идентична щебеночной: на бетоне также интенсивно развиваются обильные обрастания, существенно ухудшая качество транспортируемой воды. При устройстве каналов получают распространение грунтово-пленочные противофильтрационные покрытия. Русло канала выстилают полимерной пленкой, присыпаемой слоем грунта толщиной 0,7...1,5 м (Каховский магистральный канал). В аспекте формирования качества воды такой канал практически не отличается от необлицованного, так как поток контактирует только с грунтом.

Перспективно крепление откосов каналов с помощью естественных или искусственно созданных зарослей воздушно-водных растений [28]. Естественные заросли воздушно-водных растений трансформируют волны, уменьшают скорости ветро-волновых течений, способствуют превращению абразионных форм берегов в аккумулятивные. Поэтому для укрепления берегов каналов и водохранилищ рекомендуются посадки высших водных растений (тростник обыкновенный, камыш озерный, манник водяной и др.).

4.5. Очистка воды на биоплато

Интенсифицировать очистку воды от взвесей, органических веществ, нефтепродуктов, биогенных элементов, тяжелых металлов, пестицидов, фенолов, радиоактивных веществ и другого можно созданием в каналах условий развития сообщества высших водных растений в специальных гидротехнических сооружениях — биоплато. Механизм очистки воды на биоплато от загрязняющих примесей различен. Очистку воды здесь осуществляют помимо высших водных растений бактериальное население зарослей, донные, эпифитные, планктонные водоросли и беспозвоночные животные. Основным агентом на биоплато является бактериоперифитон — бакте-

риальная пленка, развивающаяся на подводной части растений и обеспечивающая высокую интенсивность деструктивных процессов [1].

Особый интерес представляет использование биоплато для каналов, берущих начало из водохранилищ, подверженных «цветению» воды синезелеными водорослями. Сообщества высших водных растений весьма эффективно очищают воду от массы поступающих в канал водорослей и продуктов их разложения. Для создания биоплато используют воздушно-водные растения (тростник обыкновенный, рогозы узколистный и Лаксмана, камыш озерный, цицанию широколистную) и погруженные (рдесты гребенчатый, маленький, нитевидный, стеблеобъемлющий, уруть колосистую, роголистник погруженный и др.) [21]. Наиболее полная очистка достигается при последовательном протекании воды через заросли воздушно-водных и погруженных растений. Естественно формирующихся на берегах каналов зарослей макрофитов обычно бывает недостаточно для биоплато и достижения необходимого эффекта очистки воды. Они развиваются обычно длительное время и в естественно сформированном виде возникают на отдельных участках канала лишь через 10–15 лет эксплуатации.

Проведенными исследованиями на опытном полигоне на канале Днепр–Донбасс установлено, что удельная очистительная способность сообществ тростника по отношению к БПК_п зависит от исходных концентраций органических загрязнений и продолжительности контакта воды с растениями [1]. При высоких начальных значениях БПК процесс очистки идет быстро; при более низких исходных концентрациях скорость очистки замедляется. Границей этих двух областей можно считать значение БПК_п = 15 мг О₂/л (рис. 4.5). Экспериментально полученный график был аппроксимирован в пределах каждой области линейной функцией

$$C = C_0 - f_{\text{БПК}} t. \quad (4.1)$$

Коэффициент удельной очистительной способности биоплато $f_{\text{БПК}}$ характеризует снижение концентрации ор-

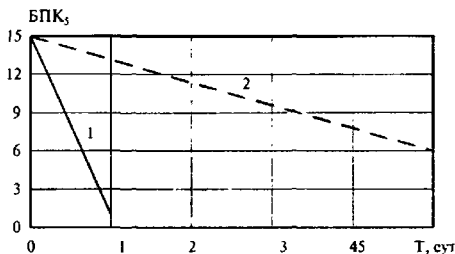


Рис. 4.5. Эффективность снижения органического вещества по БПК₅ в природной воде на биоплато (1) и в прудах (2) во времени

органического вещества по БПК_П 1 м² зарослей в единицу времени при глубине потока на биоплато $h_6 = 1$ м. Для природных вод при $C_0 < 15$ г O₂/м³ —

$$f_{\text{БПК}} = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ г O}_2/\text{м}^3\text{с.}$$

Применение биоплато как конструктивного водоохранного элемента русла канала приводит к дополнительным гидравлическим сопротивлениям. На канале Днепр—Донбасс это снизило пропускную способность на 3...5%. Некоторые высшие растения (например тростник) обладают значительной транспирационной способностью, приводя к дополнительным потерям воды. Отрицательным аспектом использования воздушно-водной растительности является также отпад их стеблей и листьев, что в определенной степени засоряет воду. Незначительный отпад идет практически постоянно. Более интенсивное поступление растительных остатков в поток происходит весной после подвижек льда, когда сухостой тростника обламывается в воду.

Очищая воду от пестицидов, фенолов, тяжелых металлов, азота, фосфора, высшие водные растения накапливают их в своей фитомассе. После вегетационного периода

часть этих ингредиентов при разложении фитомассы может возвращаться в воду. Следует учесть, что накопление тяжелых металлов и пестицидов в корневых системах намного превышает их содержание в надземной фитомассе. Это обстоятельство способствует захоронению загрязняющих примесей в донных отложениях, предотвращая вторичное поступление их в воду. Биогенные элементы в конце вегетационного периода перемешаются в корневую систему для обеспечения следующей вегетации растения. Поэтому поступающая в воду в конце зимы (в начале весны) отпавшая фитомасса содержит незначительное количество накопленных биогенов [1].

Органическое вещество (по БПК_н) и нефтепродукты в сообществах высших водных растений разлагаются, и вторичное загрязнение ими воды исключено. В определенной мере это относится к фенолам и пестицидам, которые не только накапливаются, но и трансформируются, обезвреживаясь в процессе метаболизма растений [22].

Биоплато функционируют сезонно. Сообщества высших водных растений интенсивно осуществляют очистку воды в течение вегетационного периода. Зимой интенсивность этого процесса снижается. По этой причине область применения инженерных сооружений, рассчитанных на очистительный эффект сообществ макрофитов, целесообразно ограничивать временем их активного функционирования. Биоплато на каналах по их местоположению и конструктивным особенностям разделяют на русловые, береговые, устьевые, инфильтрационные, наплавные (рис. 4.6).

Русловые биоплато создают на мелководных расширенных руслах канала, через которое проходит весь объем потока.

Береговые биоплато расположены на верховых вдольбереговых бермах канала и предназначены для защиты канала от загрязнений с откосов. Они одновременно могут выполнять функции берегоукрепления.

Устьевые биоплато располагают в местах впадения в канал загрязненных малых рек при пойменном трассировании каналов. Естественные заросли высших водных растений, обычно развивающиеся в устьевых участках малых

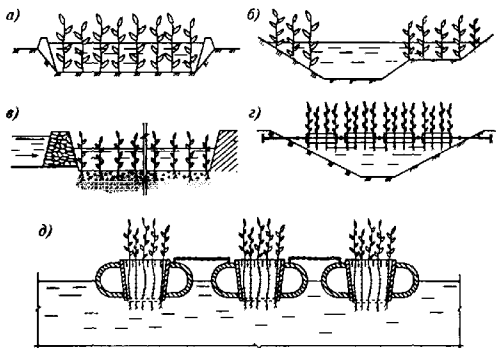


Рис. 4.6. Конструктивное оформление биоплато в каналах:

a) – русловое; *b)* – береговое; *v)* – инфильтрационное; *z)* – наплавное; *d)* – наплавные контейнеры

рек, выполняют функции биофильтрующих насадок. При их устройстве в местах сопряжения с каналом создаются условия, способствующие восстановлению зарослей.

Инфильтрационные биоплато размещают в балочных выходах поверхностного стока и используют для его очистки с помощью сообществ высших водных растений.

Наплавные биоплато предназначены для интенсивной очистки поверхностного слоя воды в каналах. Для этой цели высшие водные растения размещают в специальных наплавных контейнерах.

В конструктивном отношении биоплато делятся на две группы: полнопоточные (русловые, устьевые, инфильтрационные) и ленточные (береговые, наплавные), которые контактируют с частью потока.

Создание на основе сообществ высших водных растений сооружений для очистки вод в каналах характеризуется: большими затратами на строительство; относитель-

но невысокими концентрациями загрязняющих примесей: отведением значительных площадей. Выделение таких площадей на каналах экономически особенно целесообразно, если биоплато одновременно с очисткой воды выполняет дополнительные технологические функции. Для полного использования очистительной способности макрофитов в биоплато должны быть организованы постоянная проточность воды и максимальный массообмен с основным потоком. Площадь застойных зон в биоплато должна быть минимальной.

При проектировании русловых биоплато определяют их глубину (h_p) и скорость потока (v_p). Эти величины назначают с учетом экологических особенностей высших водных растений. Оптимальная глубина составляет до 1 (1,5) м — для воздушно-водных, до 2 м — для погруженных растений. Скорость движения воды в биоплато не должна превышать 0,2...0,3 м/с. Она обусловлена уклоном дна сооружения (или напором) и гидравлическим сопротивлением, определяемым коэффициентом шероховатости. Длину руслового биоплато, обеспечивающую заданный эффект очистки воды, вычисляют из соотношений:

$$C(x) = C_0 - f_{\text{БПК}}^x, \quad (4.2)$$

где $0 < x < l_p$;

$$l_p = \frac{v}{f_{\text{БПК}}} [C_0 - C_1], \quad (4.3)$$

где C_0, C_1 — значения БПК_п на входе и выходе из руслового биоплато длиной l , $f_{\text{БПК}}$ — коэффициент удельной очистительной способности биоплато.

Береговое биоплато представляет собой вдольбереговые полосы воздушно-водных высших растений, размещаемых в зоне уреза воды на откосах канала (см. рис. 4.6 б). Ширина полосы берегового биоплато определяется максимальной глубиной произрастания растений (около 1,5 м) и заложением откоса. В случаях, когда такой ширины недостаточно, в конструкцию поперечного сечения канала можно вводить горизонтальную подводную берму.

Для противофильтрационной защиты канала конструкцию берегового биоплато можно совмещать с полимерной пленкой, размещаемой на глубине 1,5 м под уровнем прорези канала с учетом того, что корневая система тростника в каналах размещается в слое грунта на глубине 0,6...0,7 м. Требуемую площадь берегового биоплато находят из условия обеспечения требуемой степени снижения БПК_т при его заданном значении в исходной воде из соотношения (4.3):

$$v \frac{dC}{dx} = -kC_j - f_j \frac{\omega_{\text{ввр}}}{\omega}, \quad (4.4)$$

где $\omega_{\text{ввр}} = 2b_6 h_6 l_6$.

Особенностями инфильтрационных биоплато являются использование корневой системы растений для очистки воды и дополнительный эффект очистки воды в процессе ее фильтрации через грунт.

Применение наплавного биоплато целесообразно в местах трассы канала, где необходимо создание повышенного сопротивления движению воды. В отличие от берегового оно размещается в зоне максимальной скорости потока. Площадь наплавного биоплато

$$\omega_{\text{ввр}} = n_n b_n h_{\text{нб}}. \quad (4.5)$$

УкрНИИагропроект (Б.Б. Коцинский и др.) предложил и реализовал конструкции устройств для биологической очистки воды водоемов применением высших водных растений с использованием утилизированных автопокрышек. Устройства содержат каркасы с биологической загрузкой в виде соединенных между собой групп плавучих элементов (рис. 4.6 д). Заданное количество каркасов устанавливают в начале вегетационного периода. Места их размещения определяют зонами с повышенными концентрациями загрязняющих веществ. Корневища растений располагаются в верхнем слое воды (0,2...0,3 м) на днище устройства (капроновая сетка в 2–3 слоя). Устройство позволяет очищать воду от биологических и химических примесей одним

или несколькими видами высшей растительности с размещением наплавных каркасов в необходимых местах. Возможно использование многолетних растений без замены и разборки устройств [31].

Технология посадки высших водных растений корневишно-грунтовой массой состоит в заборе этой массы из естественных мест произрастания, транспортировке ее и укладке в зоне создания биоплато. Оптимальные сроки посадки: весна (март—апрель) и осень (октябрь—ноябрь). Забор корневишно-грунтовой массы осуществляется маломощными экскаваторами с обратной лопатой, а при значительных объемах работ — механизмами большей производительности с навесным оборудованием типа «драглайн». Вынимаемую корневишно-грунтовую массу следует грузить на транспортные средства и перевозить к месту посадки. Доставленный на канал посадочный материал выгружают на подготовленную под биоплато площадку и укладывают равномерным слоем толщиной 20...30 см. При вскрышных работах, транспортировке и укладке корневишно-грунтовой массы не должна подвергаться значительным механическим воздействиям и повреждениям конусов нарастания, из которых впоследствии развивается новая поросль тростника.

После укладки посадочного материала и до укоренения корневишно-грунтовой массы необходим благоприятный гидрологический режим: уровень воды следует поддерживать на отметке низа уложенного слоя посадочного материала; кратковременное опускание возможно не более 20...30 см ниже этой отметки. Не допускается пересыхание корневишно-грунтовой массы. Во избежание размыва создаваемых участков биоплато до их укоренения вдольбереговая скорость воды в канале не должна превышать 0,1...0,2 м/с.

Важное место в эксплуатации биоплато занимает уборка фитомассы. Уборку фитомассы тростника по условиям формирования качества воды в канале необходимо производить для предотвращения засорения канала побегами тростника (в основном сухостоем), уменьшения помех в эксплуатации гидротехнических сооружений. Наиболее простое решение этой задачи — создание в зоне гидротехнических сооружений обычных сороудерживающих уст-

ройств с механической очисткой от накапливающейся массы. Исследования на биоплато канала Днепр—Донбасс показали пригодность фитомассы тростника для использования в животноводстве в качестве добавок к кормам взамен соломы. Положительный эффект такой замены выражается в повышении питательности кормов. Известен также опыт использования побегов тростника как топлива, в качестве строительного материала и др. [24].

4.6. Обессоливание воды в прибрежных вегетационных емкостях

Высокая жизнеспособность и выносливость в неблагоприятных условиях ряда высших водных растений — тростник обыкновенный (*Phragmites communis* T.), камыш озерный (*Scirpus lacustris* L.), рогоз узколистный (*Typha angustifolia* L.) и других — позволяют использовать биологические пруды и каналы с макрофитами не только в схемах очистки от антропогенных примесей, но и для снижения общего солесодержания. Круглогодичная активность корневой системы макрофитов позволяет эффективно использовать их даже в холодные периоды года.

Жизнедеятельность высших водных растений в водоемах и водотоках связана с постоянным поглощением ими минеральных и органических веществ. Следствием этого процесса является, с одной стороны, накопление в растениях химических элементов, с другой — извлечение этих соединений из круговорота в водоеме. Важно, что количественное содержание того или иного химического элемента в растениях изменяется на протяжении вегетационного сезона. За май—сентябрь отмечено два пика в содержании химических элементов в растениях. Первый пик приходится на начало вегетационного сезона (апрель—май); второй пик — на период образования генеративных органов и цветения растений.

Аккумуляционные свойства ВВР было предложено [29] использовать для частичного опреснения минерализованных вод. Этот метод может оказаться экономически обо-

снованным при небольших потребностях в опресненной воде (до 500 м³/сут) и незначительном превышении общего содержания над нормами СанПиН 2.1.4.1074-01. Для подтверждения этой идеи ВНИИ ВОДГЕО совместно с МГУ в 1991 г. (октябрь—декабрь) провел специальные опыты в искусственных условиях оранжереи в Ботаническом саду МГУ им. М.В. Ломоносова. Для эксперимента были отобраны тростник обыкновенный, камыш озерный, ирис, рогоз узколистный. Посадочным материалом служили отрезки корневищ и стеблевые побеги, адаптированные в искусственных условиях в течение 1 мес.

С появлением молодых побегов все виды растений были высажены в одинаковые емкости площадью $S = 0,5 \text{ м}^2$ с равным количеством посадочных единиц (корневищ) — 20 шт./м² (рис. 4.7). Для укрепления корневищ использован кварцевый и обыкновенный речной песок, предварительно неоднократно промытый. Каждую емкость с растениями заливали имитатом соленой воды в количестве 30 л с общей минерализацией 2 г/л. Характеристика исходного раствора приведена в табл. 4.6. Имитат имел в составе минеральные соли: NaCl, Na₂SO₄, KCl, MgSO₄, NaCO₃, CaCl₂.

Компрессором УК-40М производительностью $Q = 40 \text{ л/мин}$ осуществляли интенсивную аэрацию воды в течение 1,5...2 ч в сут. На каждую емкость с растениями приходилось $Q = 4,44 \text{ л/мин}$ воздуха. Для сравнения развития растений и поглощения солей контрольные опыты проводили:

- на водопроводной воде (фоновый вариант);
- на разнородном субстрате (кварцевый и речной песок);
- с применением питательного раствора — гидропоники.

Существенного различия в развитии растений в двух последних случаях визуально не отмечено. В сентябре—ноябре у растений наблюдалась активная вегетация. Исследования проводили в статических условиях. После 19 дней пребывания растений в исходном растворе заметную вегетацию наблюдали во всех емкостях.

В табл. 4.7 и на рис. 4.8 приведены результаты анализа солевого состава воды на 27-й день совместной экспозиции с высшими водными растениями. Визуально наблюдали высокую прозрачность воды в емкостях с растениями.

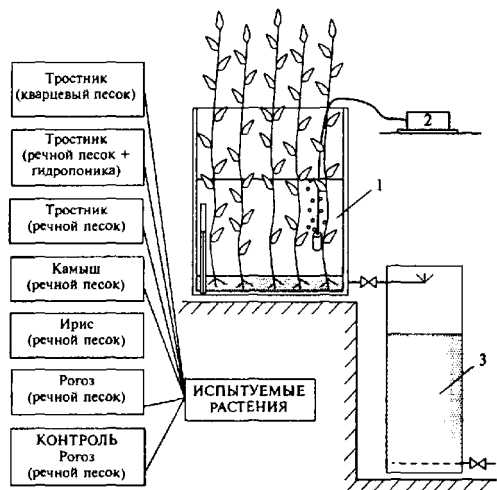


Рис. 4.7. Экспериментальная установка для исследования гидробиотического обессоливания воды:

1 – вегетационная емкость; 2 – компрессор УК-40М; 3 – фильтр с активированным углем

Были обнаружены небольшие колонии коловраток размером до 5 мм, играющие важную положительную роль в самоочистительной функции водоема. В погруженной части макрофитов и на стенках вегетационных сосудов образовались биообрастания, свидетельствующие о естественном процессе жизнедеятельности растительности. С целью предотвращения развития органики и улучшения вкусовых качеств воду, прошедшую биогидробиотическую очистку, дополнительно фильтровали через слой активированного угля марки АГ-3 со скоростью до 10 м/ч (рис. 4.9).

Характеристика исходного солевого раствора

Показатель	Концентрация, мг-экв/л									
	6,05	6,2	6,25	6,2	6,0	6,1	7,9			
pH (20°C)	18	8	10,5	10,3	9,2	10	2,9			
Ж _{общ}	9,5	4,2	6	6,5	5	5,5	2,2			
Ca ²⁺	8,5	3,8	4,5	3,8	4,2	4,5	0,7			
Mg ⁺	39,8	18,78	25,73	23,73	21,1	23,06	2,3			
Na ⁺ +K ⁺	10	5,2	7,2	7	6	6,4	2,5			
Ш _{общ}	33,8	14,1	20,3	18,6	16,3	17,5	0,85			
Cl ⁻	14	7,5	8,8	8,44	7,94	9,16	1,85			
SO ₄ ²⁻	115,6	53,6	72,6	68,06	60,6	66,2	10,4			
ΣK ⁺ +ΣA ⁻	Не определялся	Не определялся	1,94	1,83	2,12	1,89	Не определялся			
Сухой остаток	1	2	3	4	5	6	7			
Номер емкости	Тростник (кварцевый песок)	Тростник (речной песок + гидропоника)	Тростник (речной песок)	Камыш (речной песок)	Ирис (речной песок)	Рогоз (речной песок)	Контроль Тростник (речной песок)			

Таблица 4.7.

Характер изменения солевого состава воды
в осенний период вегетации: октябрь—ноябрь
(статический режим в искусственных условиях)

Вид растения	Показатель	Концентрация солей		
		в начале опыта	спустя 19 сут	спустя 27 сут
Тростник	pH	6,25	7,55	7,6
	Общая жесткость, мг-экв/л	10,5	8,1	7,7
	Кальций-ион, мг-экв/л	6	4,5	4,2
	Магний-ион, мг-экв/л	4,5	3,6	3,5
	Общая щелочность, мг-экв/л	7,2	4	4
	Хлорид-ион, мг-экв/л	20,28	14,36	14,08
	Сульфат-ион, мг-экв/л	8,75	6,46	6,5
	Натрий + калий, мг-экв/л	25,73	16,72	16,88
	$\Sigma K^+ + \Sigma A^-$, мг-экв/л	72,46	49,64	49,16
	Сухой остаток, г/л	1,94	1,34	1,3
Камыш	pH	6,2	7,6	7,6
	Общая жесткость, мг-экв/л	10,3	7,6	7,6
	Кальций-ион, мг-экв/л	6,5	4,4	4,4
	Магний-ион, мг-экв/л	3,8	3,2	3,2
	Общая щелочность, мг-экв/л	7	3,68	3,6
	Хлорид-ион, мг-экв/л	18,59	13,52	12,95
	Сульфат-ион, мг-экв/л	8,44	6,16	6
	Натрий + калий, мг-экв/л	23,73	15,76	14,95
	$\Sigma K^+ + \Sigma A^-$, мг-экв/л	68,06	46,72	45,1
	Сухой остаток, г/л	1,83	1,44	1,45

Продолжение таблицы 4.7

Вид растения	Показатель	Концентрация солей		
		в начале опыта	спустя 19 сут	спустя 27 сут
Рогоз	pH	6,1	7,5	7,65
	Общая жесткость, мг-экв/л	10	5,8	5,8
	Кальций-ион, мг-экв/л	5,5	3,1	3
	Магний-ион, мг-экв/л	4,5	2,7	2,8
	Общая щелочность, мг-экв/л	6,4	4,8	4,8
	Хлорид-ион, мг-экв/л	17,5	11,83	11,8
	Сульфат-ион, мг-экв/л	9,16	6,35	7
	Натрий + калий, мг-экв/л	23,06	17,1	17,8
	$\Sigma K^+ + \Sigma A^-$, мг-экв/л	66,12	45,8	47,2
	Сухой остаток, г/л	1,89	1,2	1,27
Ирис	pH	6	—	7,6
	Общая жесткость, мг-экв/л	9,2	—	6,5
	Кальций-ион, мг-экв/л	5	—	3,5
	Магний-ион, мг-экв/л	4,2	—	3
	Общая щелочность, мг-экв/л	6	—	6
	Хлорид-ион, мг-экв/л	16,34	—	11,8
	Сульфат-ион, мг-экв/л	7,94	—	7
	Натрий + калий, мг-экв/л	21,08	—	18,3
	$\Sigma K^+ + \Sigma A^-$, мг-экв/л	60,56	—	49,6
	Сухой остаток, г/л	1,71	—	1,4

Для исследования качества воды после фильтрации ее через активированный уголь была использована вода из емкостей, содержащих тростник, камыш и рогоз (см. рис. 4.7).

В результате такой обработки общее солесодержание в фильтрате по сухому остатку снижалось с 1,35 г/л до 0,8 г/л (см. рис. 4.8.). Для практической реализации описанного выше метода могут быть использованы водоохранные полосы в водоемах и водотоках, биоплато, инфильтрационные бассейны, плавающие биофильтры, в качестве носителей которых используют высшие водные растения.

Русловые водоохранные полосы, как отмечалось, можно рекомендовать для искусственных и естественных водотоков. Их основное назначение — фильтрация поступающего в водоток с боковой приточностью стока, укрепление береговой зоны и откосов каналов, улучшение качества воды в водотоке аккумуляцией биогенных элементов и органических веществ высшими водными растениями. Создаются такие полосы обычно в русле водотоков с частичным выходом на берега. Ширина русловой водоохранной полосы определяется шириной и глубиной, характером береговой линии и гидрологией водотока, количеством и качеством стока, поступающего с притоками.

Для русловой полосы рекомендуется подбирать высшие водные растения с мощной корневой системой, обладающие способностью к фильтрации стока с высокими коэффициентами поглощения биогенных элементов и интенсивностью фотосинтеза, способные к самовоспроизводству, характеризующиеся большими темпами роста и образования биомассы, уборка которой не вызывает затруднений. Выполненные исследования [30] позволяют рекомендовать для посадки в русловой водоохранной полосе водотоков тростник обыкновенный, камыш озерный, рогоз узколистный, цицанию широколистную и рдест пронзеннолистный. Плотность зарослей растений должна определяться характером стока, но не превышать: для тростника — 90, рогоза — 50, камыша — 90, цицании — 50 растений на 1 м².

Посадочным материалом могут служить отрезки корневищ, стеблевые побеги, комья почвы с корнями и корневищами, а также семена. Способ посадки определяется крутизной откоса, характером почвы, состоянием поса-

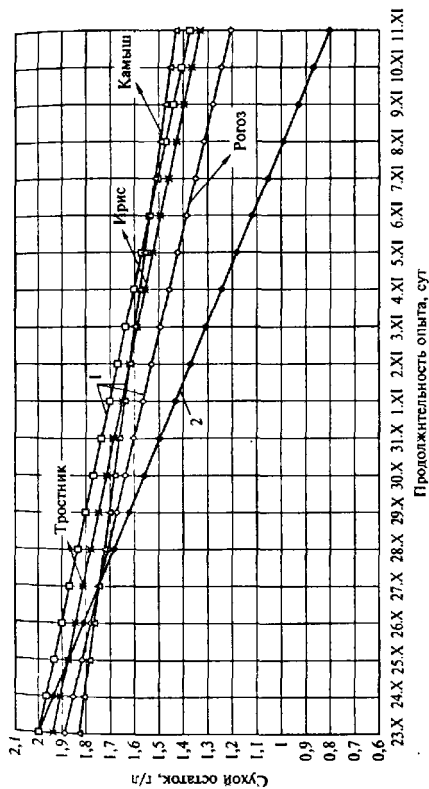


Рис. 4.8. Уменьшение солености воды (по сухому остатку) во времени различными видами ВВР: 1 — при контакте только с ВВР; 2 — при контакте с ВВР и слоем активированного угля толщиной 0,3 м

дочного материала и т.д. Во избежание ухудшения качества воды в канале после отмирания высших водных растений в результате их разложения необходима ежегодная уборка фитомассы.

Как отмечалось, поглощение биогенов и токсических веществ ВВР осуществляется в основном корневой системой. Особенно развиты придаточные корни, которые совсем не связаны с почвой. Поглощение ими биогенных элементов осуществляется непосредственно из воды. Поглощающая поверхность корней также высока. Эти особенности делают привлекательным использование для снижения солесодержания воды плавающих биофильтров.

В естественных условиях прототипом плавающих биофильтров являются сплавины, которые, отрываясь от основной части зарослей и всплывая, гонимые ветром, свободно передвигаются по водохранилищу. Поглощение биогенов растениями в сплавине осуществляется только из воды, так как вся корневая система растений находится в воде. Поскольку тростник и рогоз — многолетние растения, способные к интенсивному воспроизводству, то созданные на их основе плавучие биофильтры практически долговечны и не требуют ежегодного обновления. Площадь плавающего биофильтра определяется его назначением, наличием средств, позволяющих буксировать фильтры в очаги загрязнения. Глубина погружения биофильтра не должна превышать 0,5...0,7 м. При таких условиях происходит наиболее интенсивное развитие придаточных водных корней, которые несут основную нагрузку по поглощению биогенов из воды.

Актуальной задачей является создание запасов пресной воды в используемых или намеченных к использованию подземных водоносных горизонтах для питьевого водоснабжения. Существующие в настоящее время способы подготовки поверхностных вод обычно предусматривают забор воды из водоемов и проведение химической очистки с помощью коагулянтов, фильтрующих материалов, окислителей. Все эти методы дороги и не всегда эффективны. При закачивании очищенной химическим способом воды в водоносные подземные горизонты образуется

поверхностная пленка из коллоидов химических соединений, препятствующая перемешиванию и совмещению очищенных поверхностных и природных подземных вод. Кроме того, после химической очистки в подземные водохранилища попадают нежелательные вещества, которые обычно в подземных водах отсутствуют.

Исходя из полученных экспериментальных данных по фильтрации взвешенного вещества высшими водными растениями, поглощению ими биогенных элементов и улучшению с их помощью кислородного режима, целесообразно применение высших водных растений для подготовки воды при ее закачке в подземные пласты. Для этого вода проходит со скоростью 0,02...0,06 м/с по отводному каналу глубиной 0,5...0,6 м сквозь заросли высших водных растений, расположенных в такой последовательности: тростник—рдест—тростник. Густота зарослей 60...80 экз./м² [11]. Проходя через заросли, вода почти полностью очищается. По гидробиологическим, гидрохимическим и санитарным показателям она отвечает требованиям к воде, закачиваемой в подземные водоносные пласты. Пройдя через заросли, вода аэрируется на бетонном водосбросе (волослив с широким порогом) при скорости 1...1,5 м/с.

Предложенный метод проверен на экспериментальном участке Северо-Крымского канала (Красноперекопск). Годовой экономический эффект от его применения — до 150 тыс. руб. (цены 1984 г.). Этот метод можно использовать и для обессоливания шахтных вод. Конструкция искусственного сооружения, реализующего предложенный гидробиотический способ обессоливания воды с помощью высших водных растений [23], представлена на рис. 4.9. В бетонном, полимерном или стальном корпусе на аэрируемом ложе размещен субстрат, в котором развивается корневая система растений. На поверхности воды плавает легкая крупногранульная полимерная загрузка, предотвращающая частично испарение и прогрев воды на период ее пребывания в сооружении. Обессоленную воду отводят системой дренажных труб с обсыпкой из активированного угля. Сооружение оборудуют контрольно-измерительным комплексом слежения за динамикой солеизвлечения

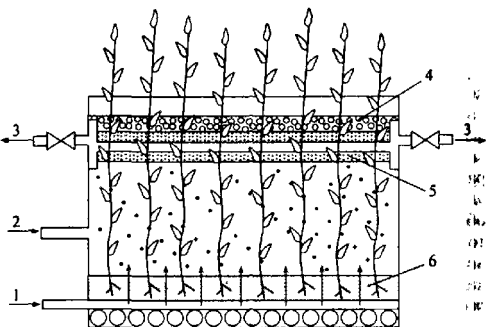


Рис. 4.9. Производственная установка по обессоливанию воды биогидробиотическим методом:

1, 2 — подача исходной воды и воздуха; 3 — отвод опресненной воды;
4 — плавающая загрузка; 5 — дренажный фильтр; 6 — субстрат

из воды и установления периодов между заменой растений и слоя сорбента на дренажных водоотводящих трубах.

Способ очистки воды от солей состоит в контактировании ее с высшей водной растительностью: тростником обыкновенным, камышом озерным, рогозом узколиственным в смеси с ирисом, выращенным на предварительно промытом речном песке с размером гранул 1...3 мм. Плотность посадки растений не менее 20...25 шт./м². В слой субстрата не менее 1 раза в сут в течение 1,5...2 ч подают воздух с интенсивностью 0,15...0,2 л/(с · м²). Процесс обессоливания осуществляют под слоем полнмерной гранулированной загрузки с плотностью меньше плотности воды. После 15...19 ч контакта воды с рН = 6,8; Ж_{общ} = 9,9 мг-экв/л; Ш_{общ} = 6,6 мг-экв/л; Ca²⁺ = 5,75 мг-экв/л; Mg²⁺ = 4,25 мг-экв/л; Cl⁻ = 18,18 мг-экв/л; SO₄²⁻ = 8,57 мг-экв/л; Na⁺ + K⁺ = 3,4 мг-экв/л; сухой остаток — 1,84 г/л и отвода воды через

дренажные трубы с обсыпкой из гранулированного активированного угля процент удаления солей достигал 57 %. Необходимость доочистки на угле обусловлена возникновением органических соединений в воде на стадии развития макрофитов.

Отметим, что данный метод имеет весьма узкую область применения как по расчетному расходу воды (требуется значительная продолжительность контакта, а следовательно, и площадь посадки растений), так и по ограниченной величине снижения общей жесткости ($\leq 25...30\%$). Поэтому его использование должно обосновываться технико-экономическими расчетами и социальной необходимостью.

Технико-экономические расчеты, выполненные для условий расхода воды до 1000 л/сут и при общем солесодержании до 2...3 г/л, показали, что в ценах 1992 г. предложенным методом можно достичь до 41—47 тыс. руб. годового экономического эффекта по сравнению с электролизом и обратным осмосом, при обеспечении качества питьевой воды по общей жесткости до 7 мг-экв/л и общем солесодержании по сухому остатку до 1 г/л.

Литература к 4 гл.

1. Окснюк О.П., Стольберг Ф.В. Управление качеством воды в каналах. — Киев, Наукова думка, 1986.
2. Шевцова Л.В. Донные животные каналов различных природных зон. — Киев, Наукова думка, 1991.
3. Ветрова З.И. Флора водорослей континентальных водоемов Украинской ССР. — Вып. 1, 2. — Киев, Наукова думка, 1986.
4. Булава М.Н., Кудин С.М. Водозаборные и гидротехнические сооружения (на укр. языке). — Киев, Вища школа, 1974.
5. Оводов В.С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. — М.: Колос, 1984.
6. ВНИИ ВОДГЕО. Проектирование сооружений для забора поверхностных вод: Справ. пособ. к СНиП. — М.: Стройиздат, 1990.
7. Журба М.Г. Микроорошение. Проблемы качества воды. — М.: Колос, 1994.
8. Олейник Г.Н. Бактериофлора каналов. — Киев, Наукова думка, 1983.

9. **Ветрова З.И., Ветров В.У.** Роль гидробионтов в доочистке сточных вод в биологических прудах // В кн.: Доочистка сточных вод. — Кишинев: Молдагроинформреклама, 1990.
10. **Якубовский К.Б. и др.** Накопление высшими водными растениями элементов минерального питания // Тр. Ин-та биологии внутренних вод им. И.Д.Папанина. Вторая всесоюзная конференция по высшим водным растениям. — Борок, 1988.
11. **Мережко А.И.** Эколого-физиологические особенности высших водных растений и их роль в формировании качества воды / Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1978.
12. **Шевякова Н.И., Федосов Ю.Г.** Использование дикорастущих галофитов в народном хозяйстве. — М.: Наука, 1975.
13. **Кульский Л.А., Сиренко Л.А., Шкавко З.Н.** Фитопланктон. — Киев, Наукова думка, 1986.
14. **Биологические пруды в практике очистки сточных вод /** Под ред. П.В.Остапеня. — Минск: Высшая школа, 1966.
15. **Культивирование микроводорослей в народном хозяйстве.** — Ташкент: ФАН, 1980.
16. **Шожабов Р.Ш.** О влиянии водного растения пистии телорезовидной на альгофлору сточных вод заводов первичной обработки кенафа // Актуальн. проблемы соврем. альгологии. — Черкассы, 1987.
17. **Haritomidis S., Jager H.J., Schwantes H.O.** Accumulation of cadmium, zinc, copper, and lead by marine macrophyceae under culture condition. *Anger. Bot.*, 1983. — № 5, 6.
18. **Maan H., Fyfe W.S.** Uranium uptake algae: experimental and natural environments. *Can. J. Earth. Sci.* — 1985. — № 12.
19. **Progress in phycological research.** Eds. Round R.E., Chapman D.J. — Amsterdam, New York, Oxford: El sevier Biomedical Press, 1982.
20. **Kausnir B., Sharma C., Venkataraman G., Sen A.** Serologic relation among some blue-green algae. *Curr. Sci.* — 1981. — № 50.
21. **Оксиюк О.П., Олейник Г.Н., Якушин В.М.** Возможность применения биоплато для улучшения качества воды при разложении синезеленых водорослей // *Гидробиол. журнал.* — 1979. — № 5.
22. **Тимофеева С.С., Стом Д.И. и др.** Деструкционная активность высших водных растений по отношению к фенольным соединениям // Первая Всероссийская конференция по высшим водным и прибрежно-водным растениям: Тез. докл. — Борок, 1977.
23. **Магомедов В.Г., Беличенко Ю.П., Стольберг Ф.В.** Биоинженерные системы для охраны водных объектов от загрязнения // *Гидротехника и мелиорация.* — 1984. — № 1.
24. **Гусак А.П., Почернин В.Н., Стольберг Ф.В.** Использование высшей водной растительности на корм скоту // В кн.: Прогрессивные способы заготовки кормов. — Винница, 1981.

25. Создание и использование инфильтрационных вод для сельскохозяйственного водоснабжения: Методические рекомендации // Ставропольский НИИ ГнМ. – Ставрополь, 1973.
26. Коврижных А.И., Луценко Е.И. и др. Трансформация качества воды в трубопроводе под влиянием гидробиологических факторов. Комплексн. использование и охрана водных ресурсов. – М., 1981. – Вып. 7.
27. Замарин И.Е. Водозаборы на реках. – М.: Госстройиздат, 1968.
28. Окснюк О.П., Мережко А.И., Волкова Т.Ф. Использование высших водных растений для улучшения качества воды // Водные ресурсы. – 1978. – № 4.
29. Журба М.Г., Любниа Т.Н. Способ биологической очистки воды от солей. Патент РФ 2094392 от 14.03.1992.
30. Очистка природной воды от минеральных солей, тяжелых металлов, органических веществ и токсичных загрязнений с помощью высших водных растений: Отчет НИР. – М.: НИИ ВОДГЕО, 1992.
31. А.С. 1675226. Устройство для биологической очистки воды водоемов / Коцинский Б.Б., Коваленко В.А. и др. // БИЗ. – 1991. – № 33.

ГЛАВА 5. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРЕДОЧИСТКА ВОДЫ НА ОСНОВЕ ЕСТЕСТВЕННОГО БИОЦЕНОЗА И НОСИТЕЛЕЙ ИММОБИЛИЗОВАННОЙ МИКРОФЛОРЫ

5.1. Биоценоз водотоков и водоемов

Биоценозы обрастаний развиваются в водоемах и водотоках различных природных зон. Их видовой и количественный состав, период наиболее активного развития имеют индивидуальную специфику, определяемую количеством солнечной радиации, поступающей на землю в данном регионе, температурой воды, степенью трофности водоема и др. [11, 13, 14, 31...34]. В северной части Русской равнины ценозы обрастаний в реках (Северная Двина, Вычегда, Печора и др.) формируются за счет организмов планктона и литореофильных ценозов дна. Уровень развития гидробионтов в этих реках невысок. Из водорослей встречаются зеленые, диатомовые и нитчатые.

Зоопланктон состоит преимущественно из коловраток, численность которых достигает 20 тыс. экз./м³. В пойменных озерах имеются ветвистоусые рачки. Донная фауна представлена мелкими формами личинок хирономид, олигохетами, нематодами, моллюсками. При общей бедности фауны имеются участки повышенной продуктивности, где биомасса донной фауны нарастает от 1 до 40 г/м². Так, в р. Северная Двина встречается *Dreissena polymorpha*, поселения которой приурочены к устьевому участку реки, их количество достигает 7...16 экз./м².

В реках Кольского полуострова и Севера Карелии (Варзуга, Умба, Вяла) хорошо развиты литореофильные биоценозы. Из подвижных обрастателей здесь встречаются личинки вессиянок, поденок, хирономид, олигохеты, личинки стрекоз, бокоплавов. Обильно развиваются выс-

шие водные растения: рдесты пронзеннолистный и блестящий, уруть, ежеголовник. Среди зарослей макрофитов много моллюсков (сибирская затворка, катушки, овальный прудовик). Из постоянно прикрепленных беспозвоночных встречаются личинки ручейников.

В крупных реках Балтийского района (Нева, Западная Двина) планктон представлен почти 380 видами водорослей, среди которых преобладают диатомовые, и 65 видами животных, в том числе 33 видами коловраток. В отдельные временные периоды численность водорослей достигает 2...3 тыс. кл/см³. Литореофильный биоценоз представлен личинками ручейников, поденок, веснянок и боклопами. В зарослях высших водных растений видовой состав, численность и биомасса беспозвоночных разнообразней и больше по количеству. Много встречается личинок ручейников. Численность беспозвоночных достигает 22 тыс. экз./м², а биомасса — до 62 г/м². В донных пробах в большом количестве встречаются брюхоногие моллюски. В р. Западная Двина важное значение в обрастаниях принадлежит дрейссене.

Черноморско-Азовский район объединяет реки Днепр, Южный Буг, Дон, Днестр, Дунай. В верхней части реки Дон в планктоне преобладают водоросли. Среди водорослей господствуют протококковые. Диатомовые водоросли достигают большого развития в средней и нижней части реки. Зоопланктон представлен коловратками. Максимальная их численность достигает 2,2 млн экз./м³. Литореофильный комплекс животных в средней части формируют ракообразные. Видную роль играют личинки ручейников, поденок, пиявок. Доминирует в обрастаниях дрейссена. Наиболее богаты гидробионтами нижний Дон и его дельта. Численность водорослей в планктоне превышает 7 тыс. кл/см³, бактерий — 1,7 млн кл/см³, зоопланктон достигает 12 тыс. экз./м³, увеличивается количество каспийцев (20 видов). Основной биоценоз состоит из моллюсков, дрейссены и речной живородки, составляющих больше 98 % биомассы. Значительная доля численности и биомассы приходится и на корофиид, гаммарид, кумовых, мизид и полихет (биомасса свыше 1 кг/м²).

Значительный эффект от использования биоценозов обрастания для предварительной очистки воды может быть достигнут в водопроводах, использующих воду бассейна Волги. Для Волги характерны высокие показатели бактерий (свыше 2,6 млн кл/см³). Состав водорослей разнообразен, в планктоне их биомасса достигает 26 г/м³, в зимний период — 0,3 г/м³. В зоопланктоне много простейших, коловраток, глохийд, перловиц и беззубок, а также велигеров дрейссен. Обрастания в водохранилищах Волжского каскада формируются диатомовыми водорослями *Cocconeis placentula*, *Fragilaria virescens*, *Melosira islandica*, численность клеток водорослей составляет 80 млн кл/м³, а биомасса 13,4 г/м³. Нитчатые водоросли — обязательный компонент обрастаний.

Из беспозвоночных в обрастаниях присутствуют моллюски *Dreissena polymorpha*, личинки хирономид, высшие ракообразные, олигохеты; численность их до 20 тыс. экз./м³, биомасса 131...217 г/м³. Благодаря заселению субстратов биоценозами дрейссены и нитчатыми водорослями интенсивность очистки воды может быть весьма существенной.

В планктоне р. Урал встречаются синезеленые, диатомовые водоросли. Из беспозвоночных обнаруживаются коловратки, ветвистоусые, веслоногие. Донная фауна весьма разнообразна. Из постоянно прикрепленных беспозвоночных обрастателей следует отметить дрейссену, мшанок, из подвижных форм — личинки ручейников *Hydropsyche*, *Oligoneuriella*, *Ecdyonopus*, личинки хирономид, ракообразных.

В планктоне р. Кубань доминируют бактерии, водоросли; зоопланктон беден из-за большой мутности воды, бедна также донная фауна. В обрастаниях найдены личинки поделок, веснянок, личинки хирономид, стрекоз и бокоплавцы.

В составе планктона р. Обь и ее притоков (Бия, Катунь, Иртыш и др.) наряду с бактериями встречаются водоросли с преобладанием диатомовых и синезеленых. Зоопланктон представлен коловратками, ветвистоусыми. Из прикрепленных форм бентоса встречаются губки — озерная спонгила и эфизация Мюллера, мшанки *Plumatella emarginata*, из подвижных организмов следует

отметить олигохет, ракушковых рачков, листоногих, бокоплавов, клешей, клопов, личинки поденок, веснянок, ручейников, хирономид и моллюсков. Литореофильные биоценозы встречаются редко и в них доминируют личинки мошек и поденок. Нижний участок реки гидробиологически беден. Наиболее богата жизнь в затоках Средней Оби.

Вегетационный сезон р. Енисей короток. Вскрытие реки в верхнем течении начинается в апреле — начале мая, в низовье — в мае—июне, замерзание в верхнем течении — в ноябре, в нижнем — в октябре. В Енисее велика площадь каменистого дна, поэтому в планктоне встречается много бентосных беспозвоночных, которые формируют биоценоз обрастаний на иммобилизованных субстратах. В количественном отношении в планктоне более развиты диатомовые водоросли, за ними — зеленые. Из водорослей и Енисее распространены — *Melosira italica*, *Asterionella*, из беспозвоночных — коловратки. Биомасса планктона в Енисее мала и не превышает 2 г/м^3 (Енисейская губа). Средняя численность фауны до 1 тыс. экз./ м^3 , а средняя масса $1,8 \text{ г/м}^3$.

Из притоков Енисея наиболее интересна Ангара. На камнях и гальке обитают водоросли, байкальские губки. Байкал дает в реку большое количество животных, водорослей, бактерий. Годовой биологический сток составляет сотни тонн. В Братском водохранилище биомасса обрастаний высока; за счет водорослей она достигает 101 г/м^3 , а первичная продукция изменяется от 6 до $21 \text{ мг O}_2/\text{л}$.

Фитопланктон и обрастания р. Лены, ее притоков и пойменных водоемов разнообразны и представлены 521 формой водорослей, 74 видами зоопланктона и 108 видами и группами зообентоса. Планктон стержневой части однообразен; преобладают диатомовые водоросли. На каменистых грунтах рипали встречаются личинки эфемеры, экдионура, гидропсихей, гептигении, губка-спонгилла, пиявки, моллюски, ракообразные, личинки насекомых. Биомасса донного населения колеблется от 0,12 до $3,8 \text{ г/м}^3$.

В Амуре (Тихоокеанский бассейн) биоценозы обрастаний сосредоточены на горных участках реки. В обрастаниях встречаются личинки ручейников, поденок; последние составляют 84 % бентоса. В протоках состав гидробионтов разнообразней; биомасса превышает $1,3 \text{ г/м}^3$. Амур с его быстрым течением и подвижными грунтами поднимает в толщу воды большое количество донных беспозвоночных, которые заселяют искусственные субстраты.

Исходя из состава и количественного развития ценозов обрастания в реках разных регионов России можно рекомендовать использование природных гидробиоценозов для предочистки воды поверхностных водоемов при получении питьевой воды более высокого качества прежде всего в бассейнах рек Волги, Северной Двины, Дона и Урала.

В естественных условиях гидробиоценозы формируются оседанием сестона на субстрат. Зооглейные бактерии являются пионерами в составе обрастаний, создаваемых различными бактериями, имеющими форму кокков, палочек. При загрязнении воды органическими веществами чаще встречаются ветвистая (*Zoogloea ramigera*) и нитчатые бактерии (*Spherotilus dichotomus* Com Mig.). В водоемах, загрязненных хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками, эти бактерии покрывают субстрат слизистым налетом. Анализ природного биоценоза в водоемах показывает, что в них широко распространены азотфиксирующие бактерии и денитрифицирующие группы, которые энергично разрушают соединения неорганического азота, фенола. В воде постоянны микроорганизмы, подвергающие деструкции нефтепродукты, обеззараживающие соли тяжелых металлов, пестициды и т.д. Эти бактерии в разных количествах имеются во всех водоемах, расположенных в разных природных зонах. Внесение в водоем иммобилизованных субстратов создает предпосылки для концентрации этих групп бактерий на определенных участках, способствуя интенсификации деструкционных процессов и очищению воды.

Одновременно с бактериями субстраты заселяют простейшими, водорослями, размножающимися в прикреп-

ленном к субстрату состоянии. На поверхности субстратов скапливается детрит, образуется богатая органическим веществом поверхность, которая заселяется беспозвоночными: личинками хирономид, ручейниками, олигохетами, двухстворчатыми моллюсками, мшанками. Между разными участками субстрата скапливаются зоопланктонные организмы. Все группы организмов имеют сложные биоценозные связи, а работа всего биоценоза направлена на активную минерализацию органического вещества, флокоагуляцию и осветление воды, биологическую детоксикацию, фотосинтетическую аэрацию.

5.2. Биохимические процессы улучшения качества воды

В настоящее время имеются все предпосылки для создания регулируемых гидробиоценозов, которые могут развиваться на иммобилизованных субстратах, устраиваемых в районе водозаборов. В отличие от существующих систем предварительной очистки воды, основанных главным образом на фильтрации и лишь частично использующих живые организмы (биопленка медленного фильтра), применение управляемых гидробиоценозов базируется на поглощении и минерализации гидробионтами взвешенных веществ, на которых, как правило, сосредоточены техногенные загрязнения. Следовательно, биоценозы образования можно успешно использовать для создания нового типа сооружений по предпочистке воды. Первые научные исследования в этом направлении провела в 50-е годы лаборатория гидробиологии МГУ под руководством С.Н. Скаловского [30]. Недостаточность конструктивных разработок не дала пока в должной мере возможности апробировать результаты этих исследований. Далее рассмотрены биологические и химические процессы взаимодействия биоценозов водотоков с ингредиентами естественного и техногенного происхождения, загрязняющими воду.

5.2.1. Минерализация

Минерализация органических веществ в водоемах и водотоках осуществляется в основном гетеротрофными гидробионтами за счет жизнедеятельности аэробных бактерий и простейших. Она возрастает с повышением температуры, ускорением оттока катаболиков и притока анаболиков. В проточных водоемах с хорошо выраженным турбулентным перемешиванием воды минерализация в биоценозах обрастаний протекает интенсивней. Бактериальная деструкция зависит от содержания органических веществ, и при $BPK_{полн} = 1...1,5$ мг O_2 /л скорость окисления органических веществ уменьшается до $0,2$ сут⁻¹ [31].

В канале Днепр—Донбасс беспозвоночные, представленные в биоценозе олигохетами, высшими ракообразными, личинками хирономид, моллюсками, минерализовали органические вещества до 430 мг O_2 /м³ · ч. По данным В.Г. Дабковой и др. (1964), зоопланктон в озерах Севера России может минерализовать 14...56 % органических веществ; в летний период интенсивность минерализации органических веществ планктонными беспозвоночными может быть выше, чем бактериями. Деструкция в процессе дыхания зоопланктона в водоемах России за вегетационный период достигает 13...24 % общей деструкции органического вещества [32]. Роль зоопланктона в общей деструкции снижается с увеличением трофности водоемов.

Водоросли обрастаний, по исследованиям М.А. Мессинева и В.И. Успенской [30], состоящие из протококковых (*Scenedesmus quadricauda*, *Pediastrum Boryanum*, *Coelastrum microcarum*), диатомовых (*Cymbella lanceolata*, *Fragilaria construens*, *Navicula* sp.) и синезеленых (*Coelosphaerium kuetsingianum*), при численности 25,3 тыс. кл/см³ существенно (в 4 раза) снижают содержание азота в воде, проходящей через ценоз обрастаний.

5.2.2. Биоседиментация и осветление воды

В биоценозах обрастаний почти всегда преобладают беспозвоночные фильтраторы, которые изымают из воды огромные количества взвеси, транспортируя ее в грунт в

виде фекальных комочков и псевдофекалий. В биokoагуляции особенно велика роль пресноводных двухстворчатых моллюсков *Dreissena polymorpha* Pall. Исследования на Волгоградском водохранилище показали, что количество воды, отцеживаемой моллюсками за вегетационный период, достигает $840 \text{ см}^3/\text{м}^3$, что в 24 раза превышает полный объем водохранилища. Степень отфильтровывания частиц размером 1...3 мкм достигает 90...92 %; с увеличением размеров до 20...30 мкм — более 97...100 %. Количество вещества, коагулируемого моллюсками, достигает за вегетационный сезон 36 млн т, из которых 29 млн т перемещается в грунт. В Учинском водохранилище (А.Н. Львова и др.) дрейссена отфильтровывает за 1 год два объема всего водоема [33]. Самоочищение воды интенсифицируется при создании фильтраторами и седиментаторами турбулентных потоков, что ускоряет минерализацию органики и детоксикацию загрязнений.

В среднем популяция дрейссены в вегетационный период способна за сутки профильтровать воды до $935 \text{ л}/\text{м}^3$. При этом она осаждаёт на дно и потребляет до 60 % органического сестона. Скорость осаждения взвешенных веществ дрейссеной зависит от плотности моллюсков и качества сестона. Количественные характеристики этого процесса используют при разработке технологии предочистки воды с помощью моллюсков — дрейссен.

При преобладании в сестоне минерально-органических частиц скорость осаждения взвешенных веществ может находиться в пределах $9,3...16,4 \cdot 10^{-3} \text{ г}/\text{экз. сут.}$ Без участия дрейссены осаждение идет в 2,3 раза медленнее. В случае, когда в сестоне в равном количестве присутствовали синезеленые водоросли, детрит и минеральные частицы, скорость осаждения составляла $17...21 \cdot 10^{-3} \text{ г}/\text{экз. сут.}$ Доминирование в сестоне синезеленых водорослей в стадии «цветения» снижает скорость осаждения взвешенных веществ дрейссеной почти в 7 раз — до $3 \cdot 10^{-3} \text{ г}/\text{экз. сут.}$ [34].

Дрейссены средних размеров способны потреблять синезеленые, диатомовые, зеленые, перидиниевые водоросли. При доминировании в сестоне синезеленых водорослей в количестве, соответствующем стадии «цвете-

ния», дрейссена перерабатывает сестон в 7–10 раз медленнее по сравнению с сестоном другого компонентного состава. Высокая концентрация коллоидных синезеленых водорослей затрудняет фильтрационную деятельность дрейссены. Если процесс фильтрования и потребления синезеленых водорослей затруднен, то, как показали опыты, выедание дрейссеной диатомовых и хлорококковых водорослей может составлять 75 % их содержания в воде. В целом за счет водорослей рацион дрейссены может удовлетворяться на 18 %.

5.2.3. Биологическая детоксикация

Биологическая детоксикация осуществляется всеми гидробионтами биоценоза обрастаний. Токсиканты используются как источник пищи, иногда — в качестве донаторов кислорода или для других целей. Нередко токсиканты попадают в гидробионты вместе с пищей и водой, в результате чего их количество и концентрация в воде снижается. Кроме того, гидробионты способны накапливать токсиканты, выводя их из воды. Гидробионты подвергают детоксикации тяжелые металлы, пестициды, нефть. Наиболее активно участвуют в этом процессе разные группы бактерий, нитчатые водоросли и беспозвоночные фильтраторы (моллюски — дрейссена, ракообразные).

Взвешенные в воде частицы нефти слизью, выделенной моллюсками, собираются в комки, которые плавают на поверхности воды, но при оседании на них минеральных частиц тонут. По накоплению дрейссеной токсикантов можно судить об их изъятии из воды. Исследования содержания токсичных веществ в раковинах моллюсков показали, что коэффициент аккумуляции дрейссеной Mn составляет 3 166, Fe — 1 610, Zn — 140, Cu — 152. Обезвреживание солей тяжелых металлов происходит в результате жизнедеятельности водорослей. Найдены бактерии, способные разрушать перхлораты, фенолы, органические вещества ароматического ряда и другие ксенобиотики.

5.2.4. Фотосинтетическая аэрация

Фотосинтетическая аэрация ускоряет многие процессы биологического самоочищения воды, улучшая ее питьевые качества благодаря обогащению ее кислородом, выделяющимся при фотосинтезе. На содержание кислорода в воде существенно влияют нитчатые водоросли родов Энтероморфа, Кладофора, Спирогира и эпифитные виды, развивающиеся в них. Так, продукционная способность эпифитных водорослей в каналах Украины может достигать $3,21 \text{ г O}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$, в озерах Еравно-Харчинской системы среднемесячная скорость фотосинтеза в планктоне составляла $65 \dots 83 \text{ мкг С/л} \cdot \text{сут}$ [35].

Итак, функциональная эффективность гидробионтов в процессах очистки воды варьируется в зависимости от расположения водоема в конкретной природной зоне и специфических особенностей гидролого-химических и гидробиологических показателей. Гидробионты, формирующие биоценозы обрастаний, как правило, являются эвритермными видами и имеют широкое распространение. Усилить эту эффективность можно размещением в потоке воды или емкостях (приемной камере волозаборных колодцев, подводных каналах, входной камере очистных сооружений и др.) насадок в виде твердых, биохимически стойких волокон или гранул с большой развитой поверхностью для закрепления на них естественных ценозов.

5.3. Насадки для иммобилизованной микрофлоры

5.3.1. Материалы насадок

В России и за рубежом производится достаточно много полимерных нитей и тканей, пригодных в качестве носителей для прикрепленных микроорганизмов. К ним относятся полиэтилен, капрон, лавсан и др. Полиэтилен является продуктом полимеризации этилена $(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$,

получаемого из нефти. Он представляет собой белый твердый материал, без вкуса и запаха, нерастворимый в воде и спирте. При нормальной температуре он весьма стоек к минеральным кислотам (серная, соляная, азотная и др.) и щелочам, а также ко многим растворителям.

Из полиэтилена изготавливают волокна с высокой прочностью, эластичностью и стойкостью к действию микроорганизмов, что позволяет их использовать в промышленности и для товаров народного потребления [9]. В «Перечне материалов и реагентов...», разрешенных Минздравом РФ для применения в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения, 1999 г., [10] перечислены десятки изделий из полиэтилена, безвредность использования которых доказана длительными испытаниями.

Наиболее широко в качестве насадок для закрепления микроорганизмов используют полиамидные материалы, отдельные звенья макромолекул которых соединены между собой амидными группами ($-\text{NH}-\text{CO}-$), а материалы характеризуются общей формулой $[\dots-\text{NHCO}(\text{CH}_2)\text{NHCO}\dots]$. К такому классу материалов относятся капрон (синонимы поли-ε-капроамид, найлон-6 и др.) и найлон-66, производство которых в России составляет до 95 % общего количества вырабатываемых полиамидных волокон. Капрон – белый роговидный материал, нерастворимый в воде, термостойкий. Как и другие синтетические материалы, он обладает стойкостью к действию микроорганизмов.

Капроновые волокна наиболее широко используются для изготовления различных изделий: прочных, не гниющих рыболовных сетей, канатов, фильтровальных и различных технических тканей. Капроны используют также для изготовления водопроводных кранов, деталей, труб, сеток, пленок и др. Токсическое действие его на организм не обнаружено [8, 9].

В качестве носителей для закрепления биоценоза в природной воде можно использовать также полиэтилен-терефталат (синонимы – полиэтиленгликольтерефталат, лавсан и др.). По химическому составу лавсан представляет собой сложный состав полиэфиртерефталевой кислоты и этиленгликоля ($-\text{OC}-\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{O}-$)*n*. Лавсан

нерастворим в воде, отличается высокой теплостойкостью, механической прочностью, превосходящей волокна из полиэтилена и капрона. В то же время лавсановое волокно высокоэластично, ткани из него не сминаются, оно обладает высокой стойкостью к действию бактерий и микроорганизмов. При санитарно-химических исследованиях в опытах его вредное воздействие на организм человека не выявлено.

Из лавсана изготавливают сетки для фильтрования жидкостей, щетки. Эти волокна получили широкое применение для изготовления хирургических нитей, искусственного меха и др. [8, 9]. В перечне [10] разрешено использование полиэтилентерефталатной пленки в качестве материала для изготовления хлораторов и фильтровальной сетки. Следовательно, химические волокна или волокнистые материалы из полиэтилена, капрона и лавсана, имеющие большую удельную поверхность для закрепления естественных биоценозов природных вод, нерастворяющиеся в воде, характеризующиеся высокой прочностью и устойчивостью к микробной деструкции, безвредностью для организмов, могут быть рекомендованы в качестве носителей прикрепленной микрофлоры в биореакторах различных конструкций.

К материалам-носителям из естественного минерального сырья относятся вспученные керамзиты, шунгизит, редоксид. Их свойства и основные технологические характеристики изложены в гл. 9.

5.3.2. Выбор оптимальной насадки при очистке природных вод

Для выбора оптимальных насадок и степени их наполнения в биореакторе проведены исследования [37] эффективности биопредпочистки воды при использовании в качестве элементов наживления биоценоза различных насадок при разной степени наполнения ими корпуса биореактора. В качестве насадок выбраны: нить капроновая текстурированная, нить полипропиленовая, нить полиэтиленовая. Капроновая нить относится к гидрофобным материа-

лам (78 %), а последние две — к гидрофильным. Известно, что если материал гидрофобный, то он лучше сорбирует из воды микроорганизмы и водоросли [45]. По данным [37, 47, 78], используемые волокна характеризуются следующими свойствами:

- капрон — плотность 1,14 г/см³; пористость — 0,52 %; удельная поверхность — 100,2 м²/г;
- полипропилен — плотность 0,91 г/см³; пористость — 0,04 %; удельная поверхность — 26,1 м²/г;
- полиэтилен — плотность 0,94 г/см³; пористость — 0,04 %; удельная поверхность — 26,1 м²/г.

Волокна, изготовленные из полиэтилена и полипропилена, обладают высокой прочностью и стойкостью к действию микроорганизмов, они нерастворимы в воде, спирте, минеральных кислотах (серной, соляной и др.) и щелочах. Капрон также нерастворим в воде, обладает стойкостью к действию микроорганизмов, нетоксичен, неустойчив по отношению к ряду минеральных кислот (серной, соляной, азотной), при этом высоко устойчив к щелочам.

Исследования выполняли на лабораторной установке, состоящей из трех вертикальных колонок высотой 500 мм и диаметром 80 мм каждая (рис. 5.1). Исходную воду подавали от НС-1 подъема сверху в каждую из колонок. Скорость фильтрования составляла 3...5 м/ч. Волокна крепили на каркасе, выполненном из переплетенных между собой отрезков проволоки. Воду отводили в нижней части колонок, где также располагался трубопровод для сброса осадка. В первой колонке крепили нить капроновую текстурированную, во второй — полиэтиленовую, в третьей — полипропиленовую. Одним из основных параметров, влияющих на эффективность работы насадок, является степень наполнения ими объема корпуса биореактора:

$$\varphi = \frac{W_{\text{волок}}}{W_{\text{ак.части}}} = \frac{d_{\text{в}}^2 l_{\text{вл}} N_{\text{в}}}{d_{\text{ак.части}}^2 H_{\text{ак.части}}}, \quad (5.1)$$

где $W_{\text{волок}}$ — объем всех загруженных волокон, м³; $W_{\text{ак.части}}$ — объем активной части (занимаемой волокнами), м³; $d_{\text{в}}$ — диаметр волокна, мм; $l_{\text{вл}}$ — длина волокна, м; $N_{\text{в}}$ — количество волокон в биореакторе, шт.; $d_{\text{ак.части}}$ — диаметр активной части биореактора, мм; $H_{\text{ак.части}}$ — толщина слоя волокон, м.

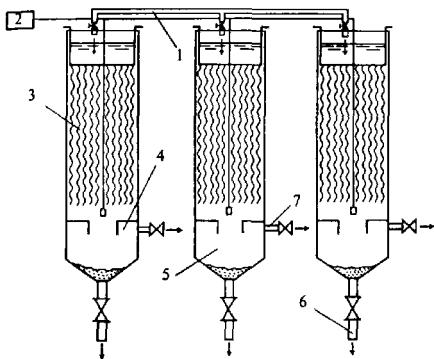


Рис. 5.1. Экспериментальный стенд:

1 — подача исходной воды; 2 — микрокомпрессор; 3 — каркас с волокнами; 4 — козырьки; 5 — отстойная зона; 6 — трубопровод для отвода промывной воды; 7 — отвод чистой воды

При погружении загрузки из волокон в воду происходит их сжатие под действием выталкивающей силы Архимеда. Полиэтилен и полипропилен имеют жесткую структуру. Капроновые волокна, напротив, хорошо сжимаются при погружении в воду. Это позволяет значительно уменьшить количество капроновых волокон при формировании необходимой степени наполнения. Относительное сжатие слоя волокон ε может быть определено по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l_{\text{вл}} - l_{\text{сж}}}{l_{\text{вл}}}, \quad (5.2)$$

где $l_{\text{сж}}$ — длина волокна в сжатом виде.

Основные параметры, характеризующие загрузку в исследуемых колонках, приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Характеристика параметров загрузки

Тип волокна	Диаметр, $d_{\text{м}}, \text{мм}$	Длина, $l_{\text{м}}, \text{м}$	Толщина слоя, $l_{\text{ср}}, \text{м}$	Степень наполнения биореактора насадками
Капрон	0,5	0,40	85	0,15
Полиэтилен	0,4	0,39	230	0,15
Полипропилен	0,4	0,38	230	0,15

Пробу воды отбирали до и после колонок. В каждой пробе измеряли: температуру воды, перманганатную окисляемость, взвешенные вещества, хлоропоглощаемость. При ухудшении качества воды, прошедшей через установку, загрузку промывали до прекращения выноса загрязнений из установки. На рис. 5.2 а...в показана динамика снижения эффективности (Ξ) концентрации взвеси, перманганатной окисляемости (ПО) и хлоропоглощаемости (ХП) воды при ее температуре 8°C для волокон различного типа.

Из рис. 5.2 видно, что улучшение качества воды наступало заметно быстрее при использовании нити капроновой текстурированной. В течение первых дней работы эффективность задержания взвеси на капроновом волокне увеличивается, затем начинает снижаться и через 2 недели становится практически незаметной. В случае применения полипропиленовых и полиэтиленовых волокон эффективность задержания взвеси была ниже.

Сопоставление графиков изменения перманганатной окисляемости и хлоропоглощаемости воды при использовании различных волокон показывает, что в колонке с капроновым волокном эффект очистки значительно больший, чем с другими загрузками. Наиболее низкий результат по исследуемым ингредиентам наблюдался при использовании полиэтиленовых волокон.

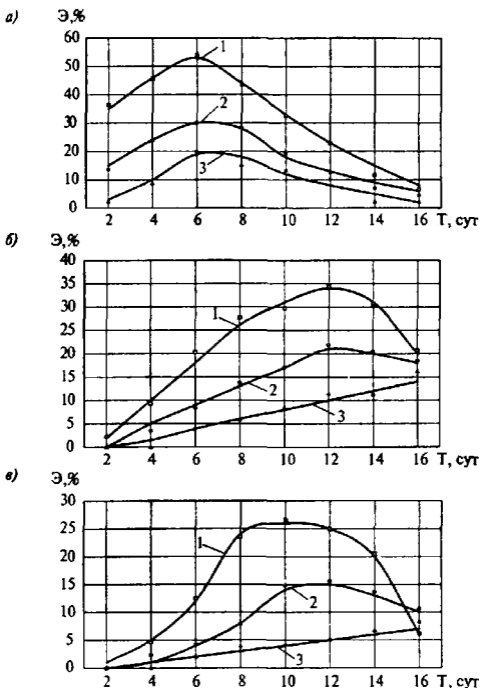


Рис. 5.2. Эффективность использования волокон различного типа (исходная вода: $t = 8^{\circ}\text{C}$; ВВ – 43...52 мг/л; ПО – 8,6...10,2 мг O_2 /л; ХП – 2,2...2,8 мг/л):

а) – снижение концентрации взвешенных веществ (ВВ); б) – изменение перманганатной окисляемости воды; в) – уменьшение хлорофиллопоглощаемости воды; 1 – капрон; 2 – полипропилен; 3 – полиэтилен

На основании полученных данных сделан вывод, что предпочтительным типом насадки из волокон является нить капроновая текстурированная, характеристика которой приведена ниже.

Показатель	Характеристика
Плотность, г/м ³	1,14
Пористость, %.....	0,52
Удельная поверхность, м ² /г.....	26,1
Влажность, %.....	3,5...5
Разрывное напряжение, МПа.....	0,47...0,61
Относительна прочность в мокром состоянии, %.....	83,8...88
Устойчивость к многократным изгибам при $s = 0,5$ МПа, число изгибов, тыс.	28,3...24,78
Устойчивость к истиранию при нагрузке 30 Гс, число циклов, тыс.	0,12...0,45
Температура размягчения, °С.....	196
Устойчивость к растворам.....	NaOH, KOH, Na ₂ CO ₃ , NH ₄ OH (вполне устойчиво), H ₂ SO ₄ , HCl, HNO ₃ (неустойчиво)
Химическая формула.....	(...NHCO(CH ₂)NHCO—...)
Гидрофобность, %.....	78 ± 0,9

5.4. Конструкции биореакторов

Использование управляемых биоценозов на водозаборах и очистных станциях требует в каждом конкретном случае особого рассмотрения. При применении воды из поверхностных водоисточников размещение биореактора возможно непосредственно в оголовке руслового водозабора или в приемном отделении НС-1. При этом необходимо учитывать реальные, достаточно высокие входные скорости потока воды в водозаборный элемент. Конструкцию биореактора рассчитывают так, чтобы не разруша-

лись (отрывались) элементы наживления биоценоза. Для эффективной очистки воды при высоких скоростях потока необходимо применение материала с высокой удельной поверхностью.

По мере зарастания загрузки производят ее промывку. Этот период работы биореактора является одним из важнейших, так как от этого зависит дальнейшая эффективность его работы. Несвоевременная очистка загрузки от налипшей биомассы может вызвать вторичное загрязнение воды. Правильно назначенные интенсивность и продолжительность промывки повышают эффективность работы биореактора.

При интенсивности $8 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$ и продолжительности промывки до 3 мин с поверхности загрузки удаляются накопившиеся продукты метаболизма и взвешенные вещества, а биоценоз обрастания разрушается лишь частично и достаточно быстро восстанавливает свою прежнюю активность.

5.4.1. Биореакторы в водозаборном узле

На рис. 5.3 показана схема оголовка руслового типа с насадкой для прикрепленных микроорганизмов. Чтобы предотвратить попадание в оголовок мальков рыбы предусматривают рыбозащитный козырек. Внутри оголовка располагают загрузку для наживления биоценоза обрастания, при проходе через который происходит частичное извлечение органических и неорганических примесей из воды. Воду на дальнейшую очистку отводят по трубопроводу. Промывку загрузки предусматривают обратным током воды из берегового колодца. При сильном зарастании загрузки в промывную воду дополнительно добавляют обеззараживающий раствор, например медного купороса. Возможно использование берегового водоприемного колодца (рис. 5.4). Исходную воду по трубопроводу подают в приемное отделение колодца. Загрузку из волокон крепят на каркасе и располагают между задвижкой и входным отверстием во всасывающее отделение. Для предотвращения попадания оторвавшихся хлопьев биоценоза во всасывающее отделение перед его входным отверстием дополнительно можно устраивать фильтрующие кассеты,

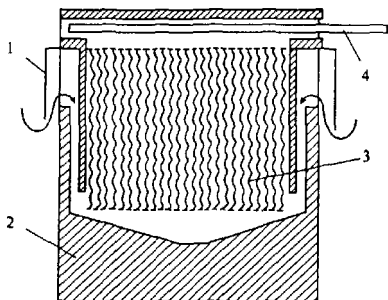


Рис. 5.3. Конструкция руслового оголовка:

- 1 — рыбозащитный козырек; 2 — железобетонный оголовок;
3 — загрузка; 4 — отвод воды к водоприемному колодцу

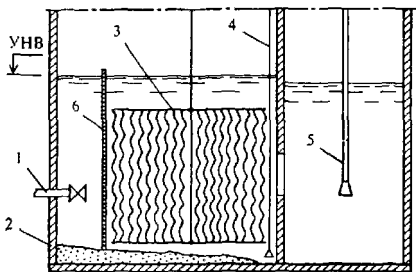


Рис. 5.4. Конструкция водоприемного колодца:

- 1 — трубопровод подачи исходной воды; 2 — стенки колодца;
3 — каркас с загрузкой; 4 — гидроэлеватор; 5 — всасывающий трубопровод;
6 — перфорированная перегородка

заполненные крупными гранулами пенополистирола. Осадок периодически удаляют с помощью гидроэлеватора.

Для промывки биореактора и фильтрующих кассет предусматривают специальные резервуары, расположенные в наземной части колодца, в которых с помощью напорного шланга отмывают загрязнения от загрузки. Загрузку и каскеты извлекают ручной или электрической талью. Свободный доступ к загрузке биореактора позволяет оперативно изменять степень наполнения, производить промывку и замену волокон. При необходимости повышения концентрации растворенного кислорода к биореактору может быть подведен воздухопровод от компрессора. Для поддержания колодца в надлежащем санитарном состоянии его периодически необходимо обрабатывать обеззараживающим раствором.

Такая конструкция биореактора не требует значительных капитальных затрат, поскольку большинство из перечисленных элементов (гидроэлеватор, таль, лебедка и др.) имеются на водозаборах. Небольшие дополнительные затраты связаны лишь с приобретением загрузки и ее монтажом. Крепление загрузки осуществляют сверху и снизу к армированной сетке с размером ячеек $0,1 \times 0,1$ м. Извлечение загрузки предусматривают с помощью ручной лебедки в павильоне на поверхности водоприемного колодца. Осадок, накопившийся на дне водоприемного колодца, удаляют гидроэлеватором. Загрузку промывают подачей воды по напорному трубопроводу непосредственно в водоприемный колодец или из напорного шланга после извлечения загрузки на поверхность в специальной емкости. При сильном заилении загрузки для предотвращения развития патогенной микрофлоры предусматривают промывку водой, содержащей обеззараживающий реагент.

5.4.2. Комбинированные сооружения «биореактор – фильтр»

Перспективно сооружение, совмещающее префильтр (биореактор-ФПВЗ) и фильтр глубокой доочистки ФПЗ-4 (рис. 5.5). Исходную воду подают по трубопроводу. Фильтр-

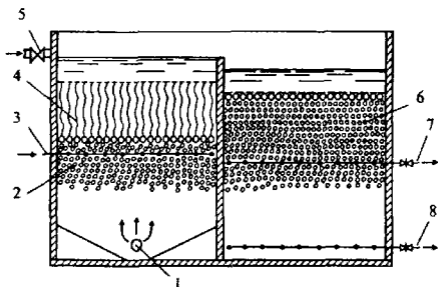


Рис. 5.5. Биореактор, совмещенный с ФПЗ-4:

1 — подача исходной воды; 2 — плавающая загрузка; 3 — подача воздуха; 4 — загрузка из волокон; 5 — трубопровод подачи промывной воды; 6 — фильтр ФПЗ-4; 7 — отвод фильтрата; 8 — отвод промывной воды

руясь снизу вверх через загрузку из дробленого пенопласта, вода освобождается от грубодисперсных примесей. Верхний удерживающий слой в префильтре выполнен из синтетических волокон, являющихся также элементом наживления биоценоза обрастания. Для повышения эффективности очистки предусмотрена дополнительная аэрация. Далее вода проходит глубокую доочистку на фильтре ФПЗ-4. Использование такой конструкции префильтра позволяет в зависимости от качества исходной воды легко изменять степень наполнения волокнами благодаря способности плавающей загрузки сжимать волокнистый слой. Это также дает возможность избежать быстрой кольятации волокнистого слоя при высоком содержании взвешенных веществ в исходной воде. При необходимости обеззараживания воды и сооружений предусматривают подачу необходимых реагентов.

При использовании на очистных сооружениях водопровода микрофильтров или барабанных сеток биореактор можно разместить в приемном кармане [12, 13].

Возможно переоборудование или замена самого барабана с использованием в качестве загрузки волокнистого фильтрующего материала [49]. При переоборудовании барабана могут быть несколько вариантов: крепление к каркасу барабана дополнительных элементов наживления, например волокон [14]; при необходимости более глубокой очистки воды на предварительной стадии ее обработки возможно применение микрофильтра с плавающим фильтрующим слоем [36]. Такая конструкция заметно снижает содержание растворенных органических веществ, грубо- и мелкодисперсных примесей до обработки воды реагентами.

Новая конструкция комбинированного сооружения, сочетающего в себе биореактор и контактный осветлительный фильтр с плавающей загрузкой, показана на рис. 5.6. Исходная вода поступает в биореактор 1 по трубопроводу 15, с помощью отражателя 16 разбрызгивается в надфильтровом пространстве и, обогащаясь кислородом воздуха, поступает в толщу загрузки биореактора, на по-

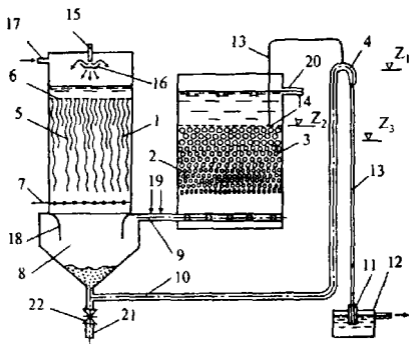


Рис. 5.6. Биореактор и контактный осветлительный фильтр

верхности которой развивается естественный биоценоз, поглощающий из воды растворенные органические загрязнения.

Во время «зарядки» биореактора и в периоды ухудшения качества исходной воды предусмотрена дополнительная подача воздуха через распределительную систему 7. Частично очищенная вода поступает в зону 8 с большей площадью поперечного сечения. Вследствие уменьшения скорости движения воды и направляющих козырьков 18, предотвращающих проскок биомассы, хлопья оторвавшейся биопленки оседают на дно. Воду из биореактора отводят по трубопроводу 9, где происходит смешивание с вводимыми реагентами 19. Далее вода поступает на фильтр с плавающей фильтрующей загрузкой и отводится на дальнейшую очистку по трубопроводу 20.

По мере роста потерь напора в загрузке фильтра уровень воды в биореакторе достигает отметки ∇Z_1 , после чего начинается перелив воды в нисходящую ветвь сифона 4. По достижении высоты столба воды в ней до отметки ∇Z_3 , обуславливающим силу давления, которая превысит выталкивающую силу Архимеда клапана 11, вода из нисходящей ветви сифона быстро вытекает в бак-гидрозатвор, создавая вакуум, благодаря которому происходит зарядка сифона и начинается процесс промывки загрузки фильтра 2 и биореактора 1. Промывку загрузки фильтра 2 осуществляют чистой водой из надфильтрового пространства.

Конструкция конусного накопителя осадка и соединительной трубы 10 позволяет одновременно с удалением осадка из толщи фильтра взмучивать и уносить через сифон в гидрозатворный бак, а затем в канализацию осадок, накопившийся в осадконакопителе. При снижении уровня воды до отметки ∇Z_2 в трубку 13 попадает воздух, приводящий к срыву вакуума в сифоне 4. В этот момент промывку прекращают и установку автоматически переводят в рабочий режим. Процесс повторяют.

При снижении уровня воды в биореакторе при промывке первый слой загрузки с наибольшей плотностью

частично оголяется, позволяя избежать быстрой кольматации загрузки во время работы биореактора. При этом на последующих слоях загрузки сформировавшийся биоценоз обрастания разрушается не полностью, что положительно сказывается на эффективности работы сооружения по окончании промывки. При сильном заилении загрузки биореактора предусматривают дополнительную промывку чистой водой через трубопровод 17, содержащий обеззараживающий реагент (например, раствор медного купороса), для предотвращения развития патогенной микрофлоры. Такую промывку предусматривают при возрастании микробиологических показателей, хлоропоглощаемости и окисляемости и других показателей. Промывную воду сбрасывают в канализацию по трубопроводу 21 при открытой задвижке 22 (в остальное время задвижка 22 закрыта) или через сифон. Возможна также водовоздушная промывка. Изучение параметров работы предлагаемой установки было выполнено на очистных сооружениях водопровода Вологды [37].

Для исследования режимов работы установки в качестве обеззараживающего реагента была использована хлорная вода, приготавливаемая непосредственно на ОСВ Вологды. В качестве коагулянта применен сернокислый алюминий. Дозирование и смешение реагентов с обрабатываемой водой осуществлялись в трубопроводе, соединяющем биореактор и контактный осветлитель. Для поддержания биореактора в надлежащем санитарном состоянии периодически его обрабатывали 5 %-ным раствором медного купороса. На основании предварительных исследований биореактора и опыта эксплуатации фильтров с плавающей загрузкой из вспененных гранул пенополистирола [38] были назначены рекомендуемые скорости фильтрования. В ходе исследований для получения высокой степени очистки скорость фильтрования на контактном пенополистирольном фильтре изменялась от 3 до 8 м/ч. Расчетный расход воды при этом составлял 2,3...6 м³/сут.

5.5. Эффективность биологической предочистки поверхностных вод

5.5.1. Биопредочистка в реакторах с носителями типа «ВИЯ»

Естественные ценозы поверхностных водоемов обеспечивают постоянную самоочищающую способность природной воды. Увеличения эффективности биологической очистки воды можно добиться повышением концентрации биомассы в единице водотока за счет иммобилизации природных сообществ гидробионтов на носителях. В естественных условиях роль носителей выполняет подводная часть растений, в частности, стебли тростника. При реализации пространственной сукцессии гидробионтов степень очистки воды может быть достаточно высокой.

В лабораторных условиях ИКХХВ (Киев) была изучена возможность биопредочистки воды реки Днепр при введении в водоток насадки типа «ВИЯ», а также исследован качественный и количественный состав ценозов насадки при искусственном заражении речной воды культурой бактерий *Escherichia coli* K-12 [3]. Опыты проводили в прямоточном биореакторе, разделенном по длине вертикальными перегородками на 5 равных секций. В каждую из секций помещали металлический каркас с закрепленной на нем насадкой. Насадка типа «ВИЯ» была изготовлена из капроновой текстурированной жгутовой нити (ТУ 6-06-С116-87, текс 350). Насадку на каркасе закрепляли горизонтально параллельными полосами, на расстоянии 10 см одна от другой. Масса насадки в биореакторе составила 160 г. На дне реактора равномерно размещали 1 кг донных отложений из р. Днепр.

Эффект очистки воды по некоторым физико-химическим показателям и введенным в подаваемую воду болезнетворным организмам отмечен на второй неделе непрерывной работы установки (табл. 5.2). Исследованы также микробиоценозы, сформировавшиеся к этому времени на насадке биореактора (табл. 5.3). Установлено, что в первой секции биореактора на насадке закрепля-

Таблица 5.2.

Эффективность биоочистки воды
в биореакторе с насадками «ВИЯ»

Показатель	Секция					Эффективность очистки, %
	1	2	3	4	5	
ХПК, мг/л	15	70	30	5	5	92,9
БПК, мг/л	8	30	10	2	2	93,3
Взвешенные вещества, мг/л	50	250	180	50	3	98,8
Прозрачность, см	20	10	15	20	30	66,7
Цветность, град	60	60	40	30	20	66,7
Запах, балл	2	2	1	1	1	50
Азот аммонийный, мг/л	5	5	0,5	0,1	0	100
Азот нитритов, мг/л	0,2	0,1	0,05	0,05	0	100
Азот нитратов, мг/л	2	1,5	1	0	0	100
Микробное число, кл/см ³ , × 10 ³	16700	28000	25000	250	150	99,5
Коли-индекс, кл/л	100	1100	800	300	3	99,7

лось 10 видов диатомовых водорослей, 4 вида сине-зеленых, преобладали *Microcystis aeruginosa* Lemm, *Aphanisomenon flos-aquae* (L) Ralfs. Простейшие были представлены в основном подтипом *Ciliata* (6 видов): *Vorticella picta*, *Vorticella convallaria*, *Vorticella companula*, *Stentor polymorphus*, *Stentor roesoli*, *Stylonychia mutilis*, *Euplotes patella*, *Chilodonella cocullulus*. Подтип *Suctorina* был представлен видом *Podophgia fixa*. Подтип *Sarcodina* – в основном *Sarcodina limax*. Среди простейших доминировали кругоресничные инфузории *Vorticella picta*, *Vorticella companula*.

Таблица 5.3.

**Видовой состав водорослей,
закрепившихся на насадке в секциях биореактора**

Водоросль	Секция				
	1	2	3	4	5
Диатомовая					
<i>Surerella elegans</i>	+	-	-	-	-
<i>Bomphonema augur</i>	+	-	-	-	-
<i>Naviculus subtilissima</i>	+	-	-	-	-
<i>Navicula cryptocephala</i>	+	+	-	+	-
<i>Melos varians</i>	+	-	-	+	-
<i>Melosira binderana</i>	+	+	-	-	-
<i>Nitzschia pales</i>	+	+	-	-	-
<i>Pinnularia viridis</i>	+	-	-	-	-
<i>Melosira italica</i>	+	-	-	-	-
<i>Cocconeis placentula</i>	+	+	-	+	-
<i>Navicula radiosa</i>	-	+	-	+	
<i>Navicula Hungarica v. linearis</i>	-	-	+	-	
<i>Navicula gastrum</i>	-	-	+	-	
<i>Amphora ovalis</i>	-	-	+	-	
<i>Melosira granulata</i>	-	-	+	+	
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	-	-	-	+	
<i>Diatomeae sp.</i>	-	-	+	+	
Итого:	10	4	5	6	2
Синезеленая					
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	+	+	+	+	+
<i>Microcystis aeruginosa</i>	+	+	+	+	+
<i>Phormidium mucicola</i>	+	+	+	-	-
<i>Oscillatoris sp.</i>	+	-	+	+	-
<i>Anabaena flos-aquae</i>	-	-	-	-	+
Итого:	4	3	4	3	3

Продолжение таблицы 5.3

Водоросль	Секция				
	1	2	3	4	5
Протококковая					
<i>Pediastrum boryanum</i>	—	+	—	—	—
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	—	—	+	+	—
<i>Palmellocystis planctonica</i>	—	—	+	+	—
Итого:	0	1	2	2	0
Хризофитовая					
<i>Pseudokephirion Shilleri</i>	—	+	+	—	—
Итого:	0	1	1	0	0
Всего:	14	9	12	11	5

Среди встречающихся колловраток доминировали представители отряда *Cephalodella*, а чаще других встречались *Cephalodella gracilis*, *Euchlanis dilatata*, *Brachionus caliciflorus*. Из других групп животных в биореакторе обнаружены олигохеты, нематоды, кишечнополосатые, моллюски, гастротрихи, водяные клещи, личинки хирономид, поденки, ручейники.

Бактерии, закрепившиеся на поверхности насадки в первой секции биореактора, отнесены к аммонифицирующим (30,8 %) и нитрифицирующим (26,8 %). Были обнаружены также денитрифицирующие (4 %), сульфатредуцирующие (1,2 %) и железобактерии (2,9 %).

Во второй секции биореактора заражение воды бактериями привело к снижению видового разнообразия гидробионтов. Из водорослей, так же как и в первой секции, доминировали *M. aeruginosa* и *Aphan. flos-aquae*. Простейшие и колловратки постоянно присутствовали на насадке, но были в меньшем количестве, так же как и личинки хирономид, олигохеты, нематоды.

В третьей секции видовое разнообразие гидробионтов по сравнению с предыдущей секцией изменялось незначительно. Особенностью биоценоза водорослей оказалось

наличие хризофитовой водоросли *Pseudokephirion Shilleri* Cong и обилие мелких форм *Diatomei*. Из простейших доминировали кругоресничные инфузории *Epistylis plicatilis*, *Carehesium polypinum*, *Vorticellas convallaria*.

Видовой состав и количество коловраток по сравнению со второй секцией биореактора не изменились. В несколько большем количестве наблюдали олигохеты. Встречались нематоды и личинки хирономид.

В четвертой секции наблюдали изменение видового разнообразия гидробионтов. Из водорослей по-прежнему доминировали *M. aeruginosa* и *Aphan. flos-aquae*. Достаточно часто представителями простейших были *Aspidisca costata*. Из коловраток в образцах чаще других встречались *Dicranophorus grandis*, *Pleurotrocha petromyzon*, *Cephalodella catelina*, *Notommata ansata*. Помимо олигохет, нематод и личинок хирономид в пробах появились ветвистоусые и веслоногие рачки. Биоценоз в пятой секции по составу доминирующего комплекса сходен с биоценозом предыдущей секции.

Таким образом, в результате искусственного заражения воды качественный и количественный состав гидробионтов в секциях биореактора изменился. В первой секции, куда подавали речную воду (она служила контролем), наблюдали большое разнообразие гидробионтов. Бактериальное загрязнение воды второй секции биореактора сказалось в основном на уменьшении видового разнообразия гидробионтов во второй и третьей секциях. По данным авторов исследований, использование насадки позволило предотвратить вымывание из системы гидробионтов. Закрепленный на волокнах ценоз оказался устойчивым к высокой нагрузке загрязнения воды кишечной палочкой. При этом сформировавшийся в биореакторе ценоз обладал высокой очистительной способностью, в результате чего уровень бактериального загрязнения существенно снижался, а по основным физико-химическим показателям эффективность очистки воды превышала 90 %.

Увеличение микробной биомассы во второй секции биореактора обусловлено снижением содержания загрязнений в речной воде благодаря свойствам микроорганизмов

использовать примеси в качестве пищевого субстрата. В третьей и четвертой секциях накопившуюся микробную биомассу утилизировала гидрофауна биореакторов, в частности, кругоресничные инфузории, коловратки и другие, численность которых нарастала. Значительную роль в освобождении речной воды от неорганических примесей сыграли водоросли, число которых и видовое разнообразие в третьей и четвертой секциях увеличивалось. Известно [25], что микроводоросли хорошо сорбируются на синтетических волокнистых материалах. Использование этой способности закрепленного на волокнистой насадке типа «ВИЯ» природного сообщества гидробионтов интенсифицировало очистку воды в результате создания условий для формирования пространственной сукцессии микроорганизмов и трофической цепи гидробионтов в биореакторе [25].

Опытно-промышленные испытания биотехнологии предварительной очистки природной воды проводили на Днепровской водопроводной станции Киева [28]. Биореактор размещали в среднем коридоре крытой галереи старого ковша. Насадку «ВИЯ» из капроновой текстурированной жгутовой нити (ТУ 6-06-С116-87, текс 500) крепили в специально изготовленных контейнерах из металлического прутка. Контейнеры устанавливали в коридорах ковша, по которому речная вода со скоростью $> 0,3$ м/с двигалась к сифонам станции первого подъема. Вода в биореакторе находилась не более 5 мин.

Наибольшую скорость обрастания волокон насадки наблюдали в первые недели функционирования биореактора. В то же время массовая концентрация обрастаний на насадке увеличивалась в течение 2 мес, а затем стала постоянной и не превышала 2 г биообрастаний (по сухому весу) на 1 г волокна носителя [28]. В обрастании обнаруживали чаще всего бактерии родов *Pseudomonas* и *Chromobacterium*, а также диатомовые, сине-зеленые, хризофитовые и зеленые водоросли. Биомасса фитопланктона в речной воде по сырому веществу в апреле—мае не превышала 3 г/м³. Повышение температуры воды сопровождалось нарастанием биомассы фитопланктона в несколько раз. Осенью количество фитопланктона уменьшилось.

Таблица 5.4.

Снижение некоторых показателей качества воды р. Днестр (%), прошедшей через биореактор

Показатель	Наблюдения 1990...1991 гг., мес									
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
Цветность	9,1	4,9	2,4	2,4	2,3	3,2	1,7	0	2,3	
Мутность	36,4	24,2	23,5	3,6	23,1	3,9	23,1	33,3	0	
Аммиак	12,8	0	9,8	5,7	8,6	12,5	11,5	0	0	
Окисляемость	1,2	7,1	9,1	24,8	1	7,3	12,9	9	10,8	
Фосфаты	4,6	0	0	3	8,3	29	2	—	—	
Железо	2,5	11,4	15	2,4	12	16,7	4	4,1	0	

Насадка типа «ВИЯ» заселялась беспозвоночными различных групп, преобладали простейшие, коловратки, черви, ракообразные. Ближе к дну на насадке закреплялись личинки дрейссен. Зоопланктон соответствовал населению насадки.

Прошедшая через биореактор речная вода улучшала свои свойства практически по всем показателям (табл. 5.4). Повышалось качество речной воды и по санитарно-микробиологическим показателям. В зимнее время функционирование биоценоза речной воды снижается, и эффективность удаления из нее различных примесей уменьшается.

Однако последующие многолетние наблюдения подтвердили, что даже при температуре воды около 0°C гидробионты продолжают очищать воду от примесей. В частности, в очищенной воде уменьшается цветность, окисляемость, снижается содержание аммиака, железа, марганца и других загрязнений.

Испытуемый на Днестровской водоочистной станции Одессы биореактор представлял собой металлический лоток размером 38,0 × 0,4 × 0,5 м, рабочим объемом 5 м³. В лотке

была смонтирована волокнистая насадка типа «ВИЯ». Скорость протока воды через реактор составляла порядка 0,3 м/с, а время пребывания воды в сооружении не превышало 1 ч.

Установлено [29], что качество воды нижнего Днестра после прохождения через биореактор улучшается по всем анализировавшимся показателям (ХПК₆, железо, марганец, взвешенные вещества, аммонийный азот, микробное число, коли-индекс и др.) в среднем на 20...40 %. Обнаружена также выраженная барьерная функция биореактора по отношению к залповым сбросам, например сульфата аммония.

Биотехнология предварительной очистки воды р. Днестр оказалась эффективной во все сезоны года после созревания активного обрастания на носителе. Результаты исследований убеждают в рациональности и эффективности очистки воды с помощью гидробионтов, закрепленных на насадках.

5.5.2. Эффективность биопредочистки в биореакторе с трехслойной капроновой насадкой

Время, необходимое для образования на поверхности материала загрузки биоценоза обрастания, в количестве и качестве, достаточном для его эффективного взаимодействия с органическими веществами в природной воде, называется временем «зарядки» биореактора. Оно эквивалентно продолжительности работы биореактора с момента пуска его в работу до начала снижения перманганатной окисляемости на 10 %. При достижении такого эффекта очистки заметно снижается хлоропоглощаемость воды (на 5 %).

Согласно исследованиям, проведенным Ж.М. Говоровой [39], при осветлении воды оптимальной степенью наполнения волокнами биореактора следует считать 0,2...0,3. По данным А.Н. Квартенко [40], при обезжелезивании подземных вод степень наполнения следует принимать в пределах от 9 до 16 волокон на 1 см². Поверхностные воды содержат большее количество взвеси по сравнению с подземными. Для предотвращения быстрой

кольматации загрузки степень наполнения предложенного нами биореактора, в случае использования волокон как носителей прикрепленной микрофлоры, рекомендована в пределах 0,1...0,2. В опытах в биореактор, показанный на рис. 5.1, помещали волокна с разной степенью наполнения (табл. 5.5). Скорость фильтрования воды изменялась от 3 до 8 м/ч.

Таблица 5.5.

Характеристика параметров загрузки

Тип волокна	Диаметр $d_{\text{в.л.}}$, мм	Длина $l_{\text{в.л.}}$, м	Толщина слоя $l_{\text{ср.}}$, м	Количество волокон N , шт	Коэффициент наполнения, φ
Капрои	3	0,5	0,38	55	0,1
	3	0,5	0,4	85	0,15
	3	0,5	0,45	110	0,2

При исследовании цветность воды колебалась от 35 до 88° ПКШ и снижалась после биореактора всего на 5...10 град. Наибольшую эффективность снижения цветности наблюдали в реакторе с $\varphi = 0,2$. С уменьшением температуры воды до 4...6°С снижения цветности не происходило. В летнее время снижение цветности происходит вследствие изъятия из воды водорослей. Столь незначительный эффект очистки по цветности объясняется наличием гуминовых веществ в р. Вологда, которые практически не подвергаются биохимическому окислению [88].

Эффективность снижения мутности воды значительнее всего зависит от степени наполнения волокнами биореактора. Независимо от температуры воды эффективность снижения мутности при $M_0 \leq 15$ мг/л составляла 10...50 % и более для насадки из капроновой текстурированной нити. В первые сутки работы биореактора при небольшой мутности воды (до 5 мг/л) эффект очистки достигал 98...100 %.

Важным показателем работы биореактора является эффективность снижения перманганатной окисляемости

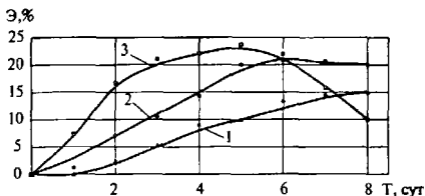


Рис. 5.7. Изменение перманганатной окисляемости при различной степени наполнения (исходная вода: $t = 8^{\circ}\text{C}$; ПО — 7,6–8,4 мг $\text{O}_2/\text{л}$; ХПК — 26,0–31,4; NH_4^+ — 0,55–0,65 мг/л):
 1 — $\varphi = 0,1$; 2 — $\varphi = 0,15$; 3 — $\varphi = 0,2$

(ПО), характеризующей наличие легкоокисляемой органики. На протяжении всего времени исследований ПО изменялась от 2 до 26 мг $\text{O}_2/\text{л}$. Меньшее значение ПО наблюдали зимой при температуре воды, близкой к 0°C , а большее — в периоды паводка, высокой температуры воды и во время продолжительных дождей, интенсивно смывающих загрязнения с поверхности водосбора. Зимой, когда биологические процессы замедляются, эффект очистки по ПО не превышал 5...15 %. В летнее время эффективность снижения ПО в исходной воде может увеличиваться до 50 % и более.

На рис. 5.7 показано снижение ПО при разной степени наполнения и температуре воды $\approx 8^{\circ}\text{C}$. При наибольшей степени наполнения эффект очистки достигал 23 %. Из графика видно, что достижение 10 %-ного эффекта очистки воды требует различного времени «зарядки». Так, для $\varphi = 0,2$ оно минимально и составляло чуть более 1 сут, при $\varphi = 0,15$ — около 3 и $\varphi = 0,1$ — 5 сут. По мере работы биореактора эффективность очистки начинает снижаться. Через 5 сут в реакторе с $\varphi = 0,2$ начинался вынос хлопьев обрастания, эффект очистки снижался. На остальных двух реакторах эффект очистки на 8-е сутки работы составлял 10 % ($\varphi = 0,1$) и 15 % ($\varphi = 0,15$). Соответственно

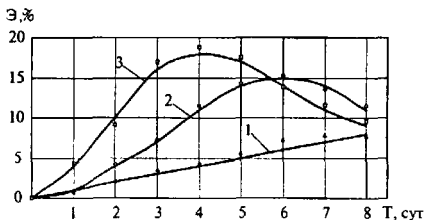


Рис. 5.8. Изменение ХПК при различной степени наполнения (исходная вода: $t = 8^{\circ}\text{C}$; $\text{ПО} - 7,6-8,4 \text{ мг } \text{O}_2/\text{л}$; $\text{ХПК} - 26,0-31,4$; $\text{NH}_4^+ - 0,55-0,65 \text{ мг/л}$):
 1 - $\varphi = 0,1$; 2 - $\varphi = 0,15$; 3 - $\varphi = 0,2$

ухудшение качества воды в них начиналось спустя 10 дней с начала цикла работы.

Наиболее точным показателем уменьшения содержания в обрабатываемой воде органических веществ оказалось ХПК. Снижение ХПК на протяжении всего периода эксплуатации установки достигало в зимнее время 15 %, а в летнее - 20...25 %. В процессе экспериментов концентрация ХПК в воде колебалась от 20 до 70 мг $\text{O}_2/\text{л}$. При этом максимальные значения ХПК обычно приходились на лето, когда активность обрастания наиболее заметна.

На рис. 5.8 показана динамика снижения ХПК для различной степени наполнения. Концентрация ХПК в исходной воде в период наблюдения изменялась от 26 до 31,4 мг $\text{O}_2/\text{л}$, температура воды составляла 8°C . При сравнении кривых видно, что наибольший эффект в первые дни наблюдался на насадке с $\varphi = 0,2$ и через 4 дня составлял 18 %, а затем начал постепенно уменьшаться. В реакторах со степенью наполнения $\varphi = 0,15$ и $\varphi = 0,1$ эффективность очистки за это время возрастала и на 8-е сутки соответствовала 12 и 7 %.

Полученные данные о снижении концентрации аммонийного азота, изменяющегося от 0,1 до 0,8 мг/л, показав-

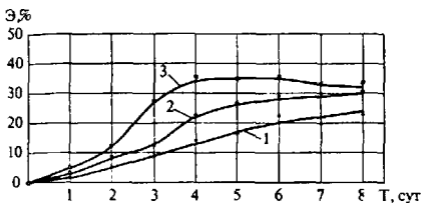


Рис. 5.9. Эффективность удаления аммонийного азота при различной степени наполнения биореактора загрузкой (исходная вода: $t = 8^{\circ}\text{C}$; $\text{ПО} - 7,6-8,4 \text{ мг } \text{O}_2/\text{л}$; $\text{ХПК} - 26,0-31,4$; $\text{NH}_4^+ - 0,55-0,65 \text{ мг/л}$):
 1 - $\varphi = 0,1$; 2 - $\varphi = 0,15$; 3 - $\varphi = 0,2$

ли, что при низких значениях температуры (менее 4°C) очистка происходит только при высокой степени наполнения ($\varphi = 0,2$) и не превышает 10%. С возрастанием температуры эффективность удаления аммонийного азота увеличилась. На рис. 5.9 показана динамика изменения концентрации аммонийного азота при температуре воды 8°C . При большей степени наполнения высокий эффект очистки достигался на 4-е сутки работы биореактора. Максимальное снижение концентрации аммонийного азота в этот период составляло от 0,62 до 0,42 мг/л (эффект очистки 35%). В реакторах с меньшей степенью наполнения эффективность возрастала не столь быстро и составляла через 8 сут при $\varphi = 0,15...30\%$, а при $\varphi = 0,1...24\%$. При анализе снижения концентрации аммонийного азота определяли концентрации нитритов и нитратов. Концентрация нитритов в первые дни работы установки увеличилась на 0,02...0,04 мг/л, а затем начала снижаться.

При анализе обрастания и осадка в пробах было обнаружено: множество мелких криптомонад (*Synchromonas* sp., *Rhodomonas* sp.); детрит; обломки панцирей диатомовых (*Synedra*, *Navicula*, *Melosira*); среди организмов зоо-

планктона отмечены *Chydorus ovalis*, *Chydorus* sp. На основании полученных данных была установлена степень наполнения загрузки биореактора, принимаемая в зависимости от качества исходной воды и параметров работы биореактора. В зимнее время при температуре, близкой к 0 °С, и незначительном содержании взвеси следует применять наибольшую степень наполнения. При температуре воды более 8 °С степень наполнения объема биореактора загрузкой может быть уменьшена до 0,1.

5.5.3. Влияние биопредочистки на снижение дозы хлора при первичном хлорировании воды

Сложность состава природных вод, наличие в них широкого спектра органических и неорганических веществ, реагирующих с хлором, является причиной того, что до настоящего времени эти сложные процессы комплексно оцениваются лишь суммарной характеристикой — величиной хлоропоглощаемости. Исходя из величины хлоропоглощаемости назначают дозу хлора. Увеличение дозы хлора при обработке вод, содержащих органические примеси, в том числе техногенные, способствует росту концентрации в воде ЛХС. Поэтому, добиваясь снижения содержания органических веществ биологическими методами в исходной воде на первой стадии ее обработки, можно исключить (существенно снизить) количество вводимого в исходную воду хлора, а следовательно, и предотвратить образование токсичных тригалогенметанов.

Для получения зависимости снижения хлоропоглощаемости воды в биореакторе от температуры воды, удельной гидравлической нагрузки (скорости фильтрования) и степени наполнения рабочего объема реактора носителем прикрепленной микрофлоры был запланирован и проведен эксперимент 2³.

В качестве функции отклика (параметра, определяющего эффективность снижения дозы первичного хлора) было выбрано отношение хлоропоглощаемости воды после обработки на биореакторе (ХП) к хлоропоглощаемости исходной воды (ХП₀). На основании предварительных ис-

следований в качестве варьируемых параметров приняты: коэффициент степени наполнения биореактора загрузкой (ϕ), температура воды (t) и скорость фильтрования (v). Учитывая, что исходная хлоропоглощаемость воды присутствует в функции отклика, это позволило отказаться от использования ее в качестве варьируемого параметра.

Все вышеперечисленные факторы в значительной степени влияют на эффективность снижения дозы первичного хлора. Коэффициент степени наполнения в значительной степени действует и на скорость обрастания и на поддержание высокой концентрации биомассы в биореакторе. Температура воды существенно влияет на жизнедеятельность микроорганизмов и, как следствие, на эффективность изменения хлоропоглощаемости.

Скорость фильтрования воды через слой носителя воздействует на условия формирования устойчивого биоценоза обрастания. Так, при высоких скоростях фильтрования происходит преждевременное разрушение биоценоза, а при слишком малых — может оказаться недостаточной величина поступления питательных веществ для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов.

Для оценки влияния факторов учитывали также их взаимное влияние (нелинейная модель). На основании полученных данных установлено, что линейная и нелинейная модель адекватны (проверка по Фишеру), опыты воспроизводимы (проверка по критерию Кохрена), все коэффициенты значимы (проверка по критерию Стьюдента). В окончательном виде получена формула

$$\frac{XП}{XП_0} = 0,96 - 0,02t - 0,22\phi + 0,01v. \quad (5.3)$$

Эта формула справедлива только после «зарядки» биореактора, так как учесть эффективность снижения хлоропоглощаемости в начальный период достаточно сложно. Применимость предложенной формулы ограничена в диапазоне температуры 4...12 °С и скорости фильтрования 2...7 м/ч. Относительная погрешность в расчетах не превышала 10 %. Для температуры воды менее 4 °С и более

12 °С эффективность снижения хлоропоглощаемости воды может быть рассчитана как для граничных значений.

При нелинейной модели зависимость имеет вид

$$\frac{XП}{XП_0} = 0,94 - 0,02t - 0,27\varphi + 0,02v - 0,004t\varphi - 0,001tv + 0,02\varphi v. \quad (5.4)$$

Средняя относительная погрешность данной формулы не превышает 6 %, что позволяет использовать ее при инженерных расчетах. При возрастании температуры воды и степени наполнения эффективность очистки увеличивается, а при возрастании скорости — снижается. Наиболее заметно влияние степени наполнения при понижении температуры воды и изменении скорости фильтрования. Причем при низкой температуре воды влияние скорости фильтрования и степени наполнения на эффективность очистки более заметно. При повышении температуры воды это влияние снижается. Динамика изменения хлоропоглощаемости обрабатываемой воды до и после биореактора приведена на рис. 5.10.

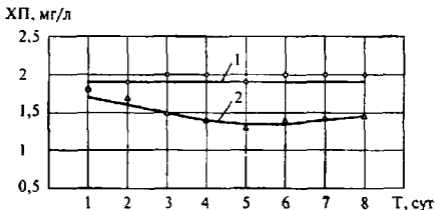


Рис. 5.10. Изменение хлоропоглощаемости воды после очистки на биореакторе
 (исходная вода: Ц — 46–54 град ПКШ;
 мутность — 2,2–3,0 мг/л; ХП — 1,1–2,0 мг/л;
 ПО — 8,0–9,2 мг O₂/л; O₂ — 6,8–7,2 мг O₂/л):
 1 — исходная вода; 2 — после биореактора

Наибольшую разницу между опытными и эмпирическими данными наблюдали в начальный период работы биореактора. Она составляла свыше 15 %. По мере «зарядки» эта величина не превышала 8 %.

5.5.4. Определение продолжительности «зарядки» и периода полезной работы биореактора

Полный цикл работы биореактора можно представить как сумму продолжительности его работы до окончания «зарядки», периодов полезной работы и промывки биореактора водой (в случае необходимости — использовать реагенты). В период «зарядки» на загрузке начинает развиваться биоценоз обрастания, который по мере своего развития интенсивно окисляет органические вещества в воде. При достижении эффективности очистки воды от органических примесей по перманганатной окисляемости более 10% начинается полезный период работы биореактора. По мере развития биоценоза обрастания на поверхности загрузки в биореакторе накапливаются продукты жизнедеятельности микроорганизмов, снижающие их развитие. При уменьшении эффективности очистки воды в биореакторе необходимо произвести промывку загрузки водой, а при ее сильном обрастании — с использованием обеззараживающих реагентов.

Определение продолжительности «зарядки» и полезного периода работы дает представление об эффективности использования биореактора. Проведенные исследования показывают, что время «зарядки» и период полезной работы биореактора в первую очередь зависят от температуры воды t . При температуре воды $0,5^\circ\text{C}$ продолжительность «зарядки» превышает 10 сут, при 10°C она может составлять от одних до нескольких суток; при 18°C — несколько часов. Период полезной работы в первом случае — более 14 сут; во втором ≈ 4 сут. Немаловажна роль при этом скорости фильтрования u , времени контакта $t_{\text{конт}}$ содержания в воде питательных веществ (определяемых по ПО), коэффициента наполнения рабочего объема носителями прикрепленной микрофлоры, содержания в воде

питательных веществ (определяемых по ПО), коэффициента наполнения сообщества.

Повышение концентрации растворенного кислорода позволяет несколько сократить время «зарядки» биореактора. Известно, что с понижением температуры воды растворимость кислорода уменьшается. Зимой с замедлением биологических процессов содержание в воде растворенных органических веществ не всегда высоко. Повышение концентрации растворенного кислорода позволяет несколько сократить время «зарядки». Возрастание температуры повышает активность микроорганизмов и «зарядка» происходит достаточно быстро. Дополнительная подача воздуха необходима только в случае низкой концентрации кислорода в воде. Насыщенность воды кислородом влияет на рост и развитие микроорганизмов, поэтому при концентрации кислорода в воде менее 3 мг/л весьма желательна дополнительная аэрация. Точно определить значение продолжительности «зарядки» и период полезной работы биореактора сложно, так как во многих случаях на них могут значительно влиять неучитываемые факторы (солнечная радиация, повышенные концентрации ядохимикатов и др.).

На основе экспериментов и применения законов математической статистики с использованием ЭВМ [41] предложена формула для определения $t_{зар}$, ч

$$t_{зар} = \frac{19,5v^{0,4}}{t^{0,9} \varphi t_{конг}^{0,2} ПО^{0,33}} \quad (5.5)$$

Относительная ошибка между значениями, полученными опытным путем и вычисленными по формуле 5.5, составила 12,5 %.

Зависимость полезной продолжительности работы биореактора от исследуемых факторов имеет вид

$$t_{п} = \frac{3321 t_{конг}^{0,32}}{t^{0,34} v^{0,63} \varphi^{0,48} ПО^{0,6}} \quad (5.6)$$

Относительная ошибка между значениями, полученными опытным путем и вычисленными по формуле 5.6, составляет 18 %.

Анализ полученных формул показывает, что время «заявки» биореактора возрастает при уменьшении степени наполнения волокнами j объема биореактора, концентрации перманганатной окисляемости (ПО) и времени контакта ($t_{\text{конт}}$). Предложенные зависимости можно использовать для предварительных расчетов. В большинстве случаев такой точности достаточно, поскольку они вполне удовлетворительно отражают общую картину работы биореактора. Данные зависимости можно применять и в инженерных расчетах по оптимизации работы биореактора.

5.5.5. Эффективность совместной очистки природных вод на сооружении «биореактор – контактный осветлитель»

Изучение параметров работы предлагаемой установки выполнено на очистных сооружениях водопровода Вологды. Биореактор – контактный осветлитель – выполнен из двух колонн высотой 1400 мм и 1200 мм и диаметром по 200 мм. Загрузка биореактора выполнена из капроновых волокон. В качестве загрузки контактного осветлителя использованы гранулы пенополистирола марки ПСВ $d = 1...2$ мм и толщиной слоя до 1,2 м. Для исследования режимов работы установки в качестве обеззараживающего реагента использовали хлорную воду, приготавливаемую непосредственно на ОСВ Вологды. В качестве коагулянта применяли сернокислый алюминий. Дозирование и смешение реагентов с обрабатываемой водой осуществляли в трубопроводе, соединяющем биореактор и контактный осветлитель.

Для поддержания биореактора в надлежащем санитарном состоянии его периодически обрабатывали 5 %-ным раствором медного купороса. На основании предварительных исследований биореактора и опыта эксплуатации фильтров с плавающей загрузкой из вспененных гранул пенополистирола [38] были назначены рекомендуемые скорости фильтрования. Скорость фильтрования на контактном пенополистирольном фильтре изменяли от 3 до 8 м/ч. При такой скорости фильтрования эффективность

очистки воды с применением первичного хлорирования и коагулирования достаточно высока и в некоторые периоды года позволяет получить воду, отвечающую действующим нормам, без дополнительной предварительной очистки.

В биореакторе загрузка выполнена с уменьшающейся по ходу движения воды степенью наполнения. Основные характеристики загрузки биореактора приведены в табл. 5.6. Дозы реагентов назначали, исходя из качества воды, прошедшей биологическую очистку.

Таблица 5.6.

Характеристика загрузки биореактора

Тип волокна	Диаметр $d_{\text{в.л.}}$, мм	Длина $l_{\text{в.л.}}$, м	Толщина слоя $l_{\text{сл.}}$, м
Капрон (верхний слой)	0,3	0,2	0,440
Капрон (средний слой)	0,35	0,22	0,280
Капрон (нижний слой)	0,37	0,22	0,185

После «зарядки» биореактора на протяжении исследований доза первичного хлора не превышала 1,8 мг/л. Доза коагулянта в ходе исследований колебалась от 20 до 30 мг/л. Снижение дозы хлора оценивали по величине хлоропоглощаемости воды до и после биореактора, которая в ходе исследований колебалась от 10 до 30 % (см. рис. 5.10). Меньшие значения относятся к периоду низкой температуры воды.

Снижение дозы коагулянта после очистки на биореакторе было не столь заметно из-за достаточно высокой цветности обрабатываемой воды. Поскольку цветность не удаляется биологическими методами, а мутность речной воды не превышала 3 мг/л, снижение дозы коагулянта колебалось от 5 до 15 %. Результаты исследований представлены в табл. 5.7. Об интенсивности протекания биологических процессов можно судить по снижению содержания концентрации растворенного кислорода в воде на выходе из биореактора

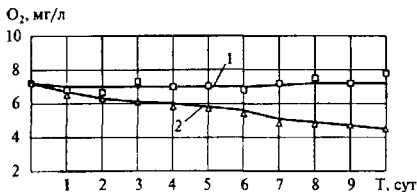


Рис. 5.11. Изменение концентрации растворенного кислорода в воде после очистки на биореакторе (исходная вода: Ц – 46–54 град ПКШ; мутность – 2,2–3,0 мг/л; ХП – 1,1–2,0 мг/л; ПО – 8,0–9,2 мг O_2 /л; O_2 – 6,8–7,2 мг O_2 /л):
1 – исходная вода; 2 – после биореактора

(рис. 5.11). Видно, что снижение концентрации растворенного кислорода становится заметным через 1 сут после включения в работу. Температура воды в источнике в период исследований составляла 6...10 °С, а концентрация кислорода 6,8...7,2 мг O_2 /л. По мере обрастания загрузки, сопровождаемого появлением на волокнах хлопьев буро-коричневого цвета, концентрация растворенного кислорода на выходе из биореактора становилась все меньше. Через 7 дней она понизилась до 4,8 мг O_2 /л, и дальнейшего снижения концентрации не происходило.

Из табл. 5.7 видно, что совместная работа биореактора и контактного осветлителя позволяет значительно улучшить качество воды: по цветности на 60...63 %, мутности – 100 %, перманганатной окисляемости – 30...50 %, аммиаку – 12 %, ХПК – 28...30 %.

Изучена динамика обрастаний волокнистой насадки [30]. Для этого волокна аккуратно извлекали из колонки с капроновыми нитями, десорбировали с них организмы-обрастатели дистиллированной водой, десорбат высушивали при 105 °С до постоянной массы ($m_{обр}$). Волокнистую насадку после десорбции высушивали на воздухе

Таблица 5.7.

**Эффективность очистки воды
на биореакторе и контактном осветлителе (КО)**

Показатель	Исходная вода	Вода после биореактора	Вода после КО
Цветность, град	46...54	44...52	18...20
Мутность, мг/л	2,2...3	1,4...2,4	0
Хлоропоглоща- емость, мг/л	1,1...2	0,9...1,3	Не определяли
ПО, мг O ₂ /л	8...9,2	6,4...7,8	4,8...5
Аммиак, мг/л	0,6...0,68	0,55...0,6	0,52...0,6
ХПК, мг O ₂ /л	22,8...26,4	20,6...24,6	16,4...18
O ₂ , мг O ₂ /л	6,8...7,2	4,2...6,8	Не определяли

и определяли ее массу ($m_{\text{вол}}$). Удельное обрастание (C , г/г носителя) рассчитывали по уравнению

$$C = \frac{m_{\text{обр}}}{m_{\text{вол}}} \quad (5.7)$$

На рис. 5.12 показана динамика изменения обрастания насадки биомассой. При сравнении с концентрацией ПО и температурой видно, что в периоды ухудшения качества воды и возрастания температуры (апрель—октябрь) наблюдается более высокая интенсивность обрастания на носителях (до 0,6...0,8 г/г насадки). Отключение установки на промывку осуществляют при ухудшении качества фильтрата или достижении предельных потерь напора.

По мере загрязнения полипропиленовой загрузки уменьшается скорость фильтрования воды, вследствие чего начинает повышаться уровень воды в биореакторе и происходит зарядка сифона. Основными показателями эффективности промывки являются ее интенсивность и продолжительность. В работах, посвященных промывке



Рис. 5.12. Изменение температуры воды р. Вологда (□), окисляемости (×, ○) до и после обработки в биореакторе и концентрации биомассы (▲) на носителе

ФПЗ [38], интенсивность промывки рекомендуется принимать в пределах 12...18 л/с·м².

Для определения времени, необходимого для отмывки загрузки, построена кривая кинетики выноса загрязнений при промывке. Для этого были отобраны пробы с интервалом через 0,5 мин. При промывке совместно биореактора и пенополистирольного фильтра несколько меняется интенсивность выноса загрязнений по сравнению с промывкой только пенополистирольных фильтров. Результаты промывки приведены на рис. 5.13.

Анализ рис. 5.13 показывает, что в начальный период времени вынос загрязнений наиболее интенсивно происходит из биореактора, и только приблизительно через 1 мин с начала промывки начинается вынос загрязнений из пенополистирольного фильтра. Задержку во времени можно объяснить тем, что в начальный период времени сначала происходит резкое падение уровня воды в биореакторе, так как загрузка из волокон имеет значительно меньшее сопротивление по сравнению с пенополистиролом. При снижении уровня воды в биореакторе до некоторой критической отметки начинается расширение загрузки из пенополистирола и вынос накопившихся за-



Рис. 5.13. Кинетика выноса загрязнений при промывке биореактора и полипропиленового фильтра
с $q = 12 \dots 18 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$

загрязнений. На графике это характеризуется резким возрастанием концентрации взвешенных веществ в промывочной воде. Необходимая продолжительность промывки составляет не менее 4 мин.

Литература к гл. 5

1. Глоба Л.И., Гвоздяк П.И., Никовська Г.М., Загорна Н.Б. Питна вода: Розв'язання проблеми можливе // Вісник АН УРСР. — 1990. — №10.
2. Глоба Л.И., Гвоздяк П.И., Никовская Г.Н., Загорная Н.Б. Качество питьевой воды. Проект, который предстоит реализовать // Вестник АН СССР. — 1991. — №4.
3. Гвоздяк П.И. Микробиология и биотехнология очистки воды: Quo vadis? // Химия и технология воды. — 1989. — Т.11, №9.
4. Гвоздяк П.И. 50 запитань № 49 Відповідей з нової біотехнології очистки води. — Київ. Товариство «Знання УРСР», 1990.
5. Гвоздяк П.И. Актуальні питання біологічного очищення води // Ойкумена. — 1992. — № 5–6.
6. А. с. № 1310005, МКИ В 01 D 29/28, 35/10. Устройство для очистки воды / Куликов Н.И., Омельченко Н.П., Подвиль В.Р. — Б.И., 1987, № 18.

7. А.с. № 1566675, МКИ С 02 F 3/30. Способ очистки воды / Гвоздяк П.И., Могилевич Н.Ф., Деннс А.Д. 1981.
8. Шефтель В.О. Полимерные материалы: Токсические свойства. Справочник. — Л.: Химия, 1982.
9. Роговин З.А. Основы химии и технологии химических волокон. — М.: Химия, 1974. — Т. 2.
10. Перечень материалов и реагентов, разрешенных Главным санитарно-эпидемиологическим управлением Минздрава РФ для применения в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения. 1991.
11. Оксюк О.П., Стольберг Ф.В. Управление качеством воды в каналах. — Киев: Наук. думка, 1986.
12. А.с. 1362710, МКИ С 02 F 3/32. Устройство для биологической очистки водотоков / Гусак А.П., Стольберг Ф.В., Затыльников В.Н. и др. — Б.И., 1987. — № 48.
13. Биологическое самоочищение и формирование качества воды. — М.: Наука, 1975.
14. Самоочищение воды и миграция загрязнений по трофической цепи. — М.: Наука, 1984.
15. Структура и функционирование сообществ водных микроорганизмов. — Новосибирск, АН СССР, Сиб. отд., 1986.
16. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. — Л.: Гидрометеоиздат, 1977.
17. Иванов А.И., Полянский Ю.И., Стредков А.А. Большой практикум по зоологии беспозвоночных. — М.: Наука, 1981.
18. Унифицированные методы исследования качества воды: Методы биологического анализа. — М.: СЭВ, 1976. — Ч. 3.
19. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. — М., 1989.
20. Матвиенко А.М. Определитель пресноводных водорослей СССР: Золотистые водоросли. — М.: Сов. наука, 1954. — Вып. 3.
21. Коршиков О.А. Підклас с протококков // Під ред. Я.В. Ролл. — Київ: Вид-во АН УРСР, 1963.
22. Топачевський О.В., Оксюк О.П. Діатомові водорості // Відп. ред. А.М. Оксер. — Київ: Вид-во АН УРСР, 1960.
23. Голлербах М.М., Косинская Е.К. Синезеленые водоросли. — М.: Сов. наука, 1953. — Вып. 2.
24. Никовская Г.Н., Гордиенко А.С., Глоба Л.И. Сорбция микроорганизмов волокнистыми материалами // Микробиология. — 1986.
25. Загорная Н.Б., Федорик С.М., Никовская Г.Н., Глоба Л.И. Адгезия водорослей на синтетических волокнах // Гидробиол. ж. — 1991. — Т. 27, № 4.

26. Глоба Л.И., Гвоздяк П.И., Загорная Н.Б. и др. Очистка природной воды гидробионтами, закрепленными на волокнистых насадках // Химия и технология воды. – 1992. – Т. 14, № 1.
27. 1665647, МКИ С 02 F 3/34. Способ очистки воды / Гвоздяк П.И., Загорная Н.Б., Никовская Г.Н. и др. – Б.И., 1991. – № 31.
28. Глоба Л.И., Гвоздяк П.И., Загорная Н.Б. и др. Опытные-промышленные испытания биотехнологии очистки речной воды // Химия и технология воды. – 1992. – Т.14, № 1.
29. Глоба Л.И., Гвоздяк П.И., Загорная И.Б. и др. Биотехнология предварительной очистки воды р. Днестр на Беляевской водочистой станции // Химия и технология воды. – 1993. – Т.15, № 9–10.
30. Биоценозы обрастаний в качестве поглотителя. – М.: Изд. МГУ. 1961.
31. Олейник Г.Н. Бактериофлора каналов. – Киев: Наук. думка, 1983.
32. Иванова М.И. Продукция планктонных ракообразных в пресных водах. – Л.: 1985.
33. Алимов А.Р. Функциональная экология пресноводных двусторчатых моллюсков. – Л.: Наука, 1981.
34. Шевцова Л.В. Донные животные каналов различных природных зон. – Киев: Наук. думка, 1991.
35. Гидробиологические основы самоочищения вод / Сб. науч. раб. – Л., 1976.
36. Жалин В.И., Герд С.В. Реки, озера и водохранилища СССР, их фауна и флора. – М., 1961.
37. Орлов М.В. Биологическая предочистка природных вод с повышенным содержанием органических веществ. Автореф. ... канд. диссерт. Вол. ГТУ, Вологда, 1999.
38. Журба М.Г. Пенополистирольные фильтры. – М.: Стройиздат. 1992.
39. Говорова Ж.М. Разработка водоочистных фильтров с пенопластоволокнистой загрузкой. Автореф. ... канд. диссерт. Петербургский Университет сообщения, СПб., 1994.
40. Сафонов М.А., Квартенко А.Н., Сафонов А.Н. Самопромывающиеся водоочистные установки. – Ровно, РГТУ, 2000.

ГЛАВА 6. ФИЛЬТРУЮЩИЕ ВОДОПРИЕМНИКИ

Функциональное назначение фильтрующих водоприемников достаточно универсально и многообразно. Это обстоятельство свидетельствует о возможности применения фильтрующего водоприема для улучшения качества воды непосредственно на водозаборе, предотвращения поступления планктона, водорослей, грубодисперсных взвесей в береговые водоприемные колодцы и далее на очистные станции.

Комплексные и целенаправленные исследования фильтрующего водоприема выполнены во ВНИИ ВОДГЕО под руководством А.С. Образовского. Основные задачи использования фильтрующего водоприема: защита от шуголедовых помех [1, 2]; обеспечение рыбозащиты [3]; защиты от наносов, морских водорослей и организмов [4]; комбинированное защитно-очистное назначение [5...8]; предварительная очистка воды перед подачей на очистные сооружения или в бассейны искусственного пополнения подземных вод [10...12] и др.

С позиций технологий водоотбора любые взвеси (планктон, водоросли, наносы, все виды засорений), содержащиеся в источниках, подлежат задержанию (изъятию) из воды перед обработкой. Периодичность появления шуги, наносов, планктона (водорослей) и их интенсивность требуют ориентировать конструкцию водоприемников с фильтрующими элементами (засыпками, обсыпками, кассетами и др.) на самые неблагоприятные периоды работы: летом — фитозагрязнения; зимой — шуголедовые помехи (внутриводный лед). Опыт показал, что при этом фильтрующие водоприемники наиболее перспективны, так как обеспечивают:

- комплексную защиту водозаборов от всевозможных взвесей и помех при обычных и чрезвычайных

проявлениях режима источников, включая отказ от водоочистных сеток в береговых колодцах с соответствующим удешевлением строительства и эксплуатации водозаборов и решением задач рыбозащиты;

- улучшение качества отбираемой воды до показателей, упрощающих ее дальнейшую обработку или отказ от нее вовсе (инфильтрационный водоприем, водоприемники-префильтры и др.);
- минимальное воздействие на гидрологический режим источников благодаря максимальному приспособлению к характеру источника;
- экологичность водоприема в системах водообеспечения;
- применимость в различных природно-климатических условиях;
- широкий диапазон применимости по водоотбору (от нескольких л/с до десятков м³/с) для разных групп водопотребителей;
- возможность обеспечения заданной степени очистки воды выбором соответствующих типов, конструкций и технологических режимов эксплуатации водоприемников.

Фильтрующие элементы как доступное средство — надежное и достаточно эффективное направление улучшения качества отбираемой воды — издавна оценено при водоснабжении в разных районах. М.Н.Черепашинский описывает фильтрующие водоприемники в виде ряжей, деревянных дырчатых труб с обсыпкой камнем слоем до 6 футов (оз. Онтарио, с 1868 г.; оз. Мичиган, с 1872 г.), фильтрующей дрены из р. Миссисипи (Кристя-Сити, 1892 г.), горизонтальной фильтрующей дрены из р. Кенигс (Кенигсберг, 1886 г.); так называемые «двойные фильтры» для очистки воды перед подачей на инфильтрацию в бассейны (Кенигсберг; с 1829 г. — в Лондоне, с 1848 г. — в Марселе, с 1849 г. — в Париже и др.). Два последних объекта построены Дарси. А.А.Сури́н касался состояния и перспектив развития фильтрующего водоприема на основе мирового опыта водоснабжения.

Просматривается тенденция ухода от влияния многочисленных неблагоприятных факторов, имеющих место в поверхностных источниках (водоросли, планктон, фито-загрязнения и др.), под защиту фильтрующих слоев (искусственных или естественных) различной мощности, крупности, материалов, ниже или на уровне дна и берегов. Последнее соображение позволяет вести водоотбор из малых и перемерзающих рек, обеспечивая совместный забор как поверхностного, так и подруслового стока.

Анализ обширного материала по водоприему и предварительной очистке воды для целей инфильтрации, микроорошения [12], водоснабжения городов, промышленности и энергетики [1...9, 10, 12, 18] свидетельствует о перспективности фильтрующих водоприемников и технологий фильтрующего водоприема, обладающих наибольшей надежностью, экономичностью, простотой, доступностью, экологичностью.

6.1. Схемы, классификация и конструктивное оформление водозаборов с фильтрующим водоприемом

На практике водозаборы с фильтрующим водоприемом могут реализовываться в виде фильтрующих, инфильтрационно-фильтрующих и комбинированных водоприемников (рис. 6.1.). Возможны варианты водоотбора:

- сильно развитый фронт руслового или берегового водоприема (ряжевые, береговые дрены, фильтрующие откосы и др.);
- фильтрующий водоприем на уровне или ниже дна источника, в виде галерей, фильтрующих каналов, дрен, лотков и пр.;
- комбинированный водоприем, ориентированный на совместный забор поверхностных и подруслых вод;
- инфильтрационно-фильтрующий водоприем, обеспечивающий забор преимущественно подруслых вод, обладающих достоинствами одновременно фильтрующих и инфильтрационных водоприемников.

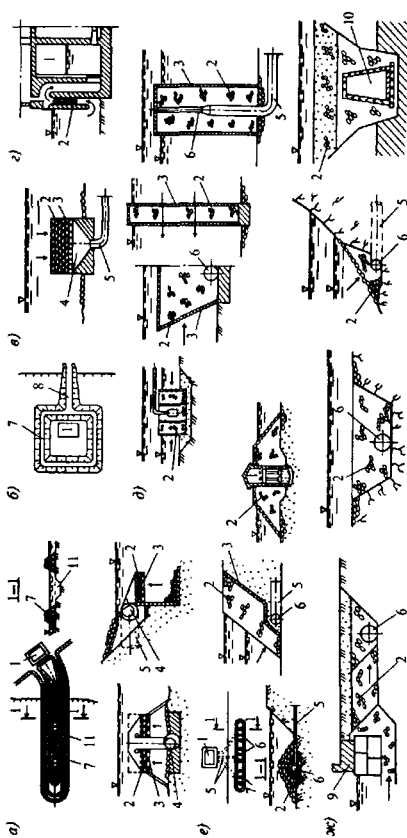


Рис. 6.1. Основные технологические схемы и типы фильтрующих водозаборно-очистных сооружений:

а) — ковш; б) — колодец; в) — с фильтром I типа; г) — с фильтром II типа (сифонный; грибовидный; консоль); д) — с фильтром III типа (рыж. уступ, стенка, колонна); е) — с развитой площадью подоприема (дрена, откос, остров); ж) — инфльтрационно-фильтрующие (дрена; А.С. Образовского; береговая; в скальном русле; подрусловая галерея); 1 — береговой колодец; 2 — фильтр; 3 — решетка; 4 — аванкамера; 5 — водоотводящий трубопровод; 6 — дрена; 7 — фильтрующая дамба; 8 — глухая дамба; 9 — набережная; 10 — галерея; 11 — канал

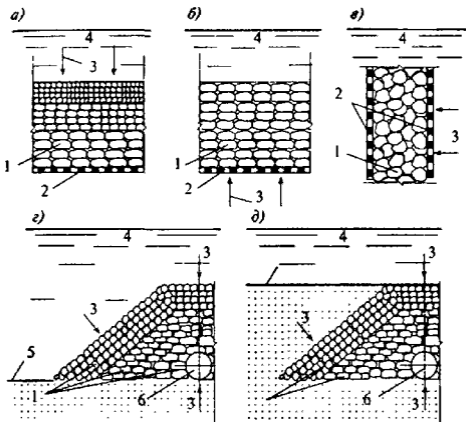


Рис. 6.2. Типы фильтров водоприемников.

Фильтры с поступлением воды:

a) – сверху вниз; *б)* – снизу вверх; *в)* – сбоку; *г)* – со смешанным (сверху вниз, сбоку); *д)* – с комбинированным (сверху вниз, снизу и сбоку из подруслового потока); 1 – фильтр; 2 – опора (решетка); 3 – направление входа воды; 4 – источник; 5 – линия дна; 6 – водоотвод

Варианты технологии водоприема и типы (конструкции) водоприемных сооружений по размещению их в источнике разнообразны по функционально-технологическим и конструктивным решениям. Принятая технология водоприема должна быть надежной в нормальных и чрезвычайных, редко повторяющихся условиях водоотбора (шуга, наносы, планктон, водоросли и пр.) соответствующему классу надежности водозабора и специфике возможных затруднений отбора. Классификационная схема сооружений фильтрующего водоприема, предложенная проф. Ю.И. Вдовиным [2], представлена на рис. 6.2.

Исходя из расположения внешних фильтрующих поверхностей относительно горизонта и по направлению отбора воды различают: водоприемники с горизонтальными фильтрами и отбором воды сверху вниз (с фильтрами I типа); водоприемники с горизонтальными фильтрами и отбором воды снизу вверх (водоприемники с фильтрами II типа); водоприемники с вертикальными фильтрами и движением воды в них горизонтально (с фильтрами III типа); водоприемники со смешанными фильтрами в несколько слоев и движением воды в них сверху вниз, сбоку, снизу (с фильтрами IV типа); водоприемники комбинированные с отбором воды сверху вниз, с боковых направлений (из поверхностных источников) и снизу из подрусловых потоков (водоприемники V типа).

Возможные решения водоотбора через фильтры разнообразны, но окончательно тип, схемы и конструкции фильтрующего водоприемника определяют исходя из природно-гидрологических и гидробиологических характеристик источников. Фильтры (пористо-фильтрующие элементы) водоприемников при водоотборе из источников при наличии в них взвеси любых видов и происхождения (листва, хвоя, растительность и ее остатки, таежный сор, наносы, водоросли, планктон, волокна, всевозможный плавающий мусор, внутриводный лед, шуга и др.) должны задерживать их на поверхности.

Фильтры водоприемников выполняют разной мощности, в один или несколько слоев естественных (щебень, гравий, галька, их смеси с крупнозернистым песком и пр.) или искусственных (керамзит, стекло, полимеры, пенополистирол, волокнисто-пористые и др.) материалов, пропускная способность которых может восстанавливаться в процессе эксплуатации (фильтрующие водоприемники) или не предусматривается (инфильтрационные модификации). Размещение фильтров, их взаиморасположение в комплексе с водосборными, водоотводящими и промывными устройствами зависят от принятой технологии водоприема, функционального назначения и условий работы водозабора, требуемой степени улучшения качества воды (эффекта задержания взвеси).

Фильтрующие водоприемники используют для отбора воды из поверхностных источников; фильтрующие поверхности их располагаются непосредственно в источнике, на уровне или ниже дна. Неотъемлемой частью таких водоприемников является наличие устройств для регенерации (промывки, продувки и др.) фильтров при их забивке (засорении, кольматации).

Инфильтрационно-фильтрующие водоприемники ориентированы на отбор поверхностных и подрусловых вод. Фильтры этих сооружений размещают в аллювии отложений русла ниже уровня дна или в берегах. Возможна мощная фильтрующая обсыпка в несколько слоев вокруг водоприемных шахт, колодцев, дренажных коллекторов [2, 13] и др. В 1...1,5 м от поверхности фильтрующей толщи укладывают систему перфорированных промывных (продувочных) трубопроводов. Водоотбор по этой схеме преимущественно поверхностных вод решают дренами, галереями, фильтрующими прорезями и т.п. При размещении ниже уровня дна роль фильтров выполняют пористо-бетонные блоки [14]. Защиту от забивки морским планктоном, наносами, медузами и прочими надежно обеспечивают мощные каменно-набросные фильтрующие ограждения акваторий водоотбора [23] $\geq 10...15 \text{ м}^3/\text{с}$. При кольматации фильтрующих элементов их проницаемость снижается до уровня естественных русловых отложений, и водоприемники превращаются в инфильтрационно-фильтрующие.

Большинство подрусловых и береговых фильтрующих водоприемников предусматривает периодическое восстановление проницаемости фильтрующих элементов снятием закольматированного слоя в русле земснарядами [2], гидравлическим декольматированием [16], промывкой водой и водовоздушной смесью [1, 7], созданием в акватории увеличенных скоростей и вихревых течений. Комбинированные и инфильтрационно-фильтрующие водоприемники при водорослях успешно работают в нижних бьефах гидроузлов, из малых и средних рек, максимально улучшая качество забираемой воды. Учитывая, что взвесь и водоросли (планктон) при глубине 3...4 м распределя-

ются по всему сечению потока, целесообразнее развивать водоприемный фронт на уровне дна, ниже дна в виде галерей, дрен. Усложняется промывка фильтрующих слоев, работающих в режиме фильтров очистных сооружений [26]. Поскольку остаточная кольматация фильтров накапливается даже при весьма малых u_{ϕ} и устранить ее при обширном водоприемном фронте известными техническими средствами сложно, возможен отказ от промывки фильтрующих слоев с превращением водоприемников в инфльтрационные.

Возложение на водозаборы функций водоочистки, изъятия из воды основной массы взвеси, включая водоросли и планктон, потребовало соответствующего конструктивного усовершенствования водоприемников. Основой большинства конструкций водоприемников служат фильтрующие элементы. Задачей их является предочистка воды от всевозможных помех и взвеси непосредственно в источнике или на водозаборе. Водоприемники, таким образом, являются первой ступенью безреагентного осветления воды (при инфльтрационных водозаборах — основной вид очистки).

Исследования и производственный опыт создания и эксплуатации показывают, что вопросы фильтрующего водоприема [гидравлика взаимодействия водоприемников и их фильтрующих элементов с водоисточниками, размещение фильтрующих водоприемных площадей в источнике относительно поверхности дна, берегов, горизонта, прогноз осветляющего эффекта фильтров водоприемников в зависимости от характеристик исходной воды, прогноз засорения (забивки, кольматации) фильтров, возможности регенерации (промыва, продувки и пр.) фильтрующих элементов, режимы эксплуатации и т.д.] еще недостаточно изучены. Не установлены обоснованные гидравлические, конструктивно-технологические параметры, расчетные схемы, режимы отбора и регенерации фильтров. Во многом не выявлены для большинства модификаций принципы их работы в разных условиях.

Весьма недостаточно изучены практические аспекты фильтрующего водоприема при минеральных взвесах и

фитопланктоне, отсутствуют четкие, конкретные критерии оценки технологических свойств воды, включающей взвеси и водоросли. Поэтому нет ясности в вопросе о целесообразных типах и конструкциях фильтров водоприемников (крупности, направления водоотбора, значений $v_{\text{вх}}$, толщины фильтров, способов их промывки и др.) при отборе воды из источников. В частности, вопрос о доле и пределах влияния взвесей и водорослей на общие характеристики воды (мутность, цветность, сухой остаток и др.) не получил еще достаточного освещения в литературе. Принятая оценка концентрации водорослей (планктона) в источнике (кл/мл, млн кл/мл, колоний/мл) затрудняет учет их в общем содержании взвешенных веществ в воде (мг/л, г/м³). Очень сложно выделить процент собственно водорослей из общей взвеси. Поэтому, проектируя водоприемник, целесообразно учитывать общее значение взвеси в отбираемой воде, M_{max} , отмечая, однако, наличие водорослей. С позиций фильтрующего водоприема несущественно выделение составляющей части водорослей из общего значения M_{max} .

Исходя из такого предположения, основные конструкции водоприемников с фильтрами принимают не столько из соображений учета особых свойств водорослей, сколько из требований комплексного учета защитно-барьерных и водоочистных функций сооружений в целом от взвеси. Интересен в этом отношении сифонно-фильтрующий водоприемник (рис. 6.3 а). Фильтр может исполняться из жестких материалов (щебень, галька) или плавающих грузов [24]. Эти же соображения предопределили создание плавучих фильтрующих водоприемников (рис. 6.3 б) и плавучих водозаборов-осветлителей с тонкослойными модулями (рис. 6.3 в).

Из сопоставления последних решений (см. рис. 6.3 б, в) видно, что процессы фильтрации в фильтрах II типа (снизу вверх) и отстаивание в тонком слое (водоотбор снизу вверх) имеют схожие гидравлические и физико-механические основы забора и осветления воды.

Наиболее апробированы на практике фильтрующие водоприемные оголовки разных конструкций, обеспечи-

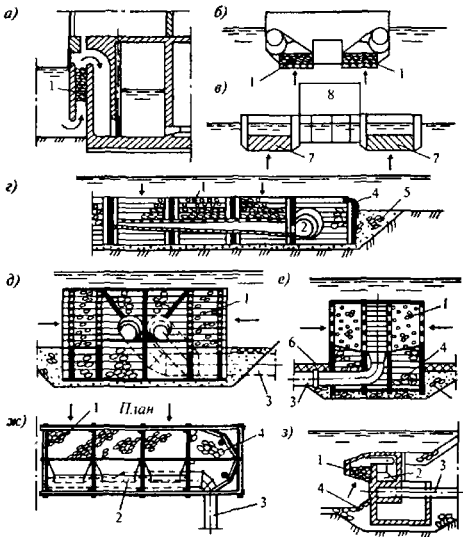


Рис. 6.3. Примеры водозаборно-очистных сооружений:

а) – береговой сифонно-фильтрующий водозабор; б) – плавучий фильтрующий водозабор; в) – плавучий водозабор с тонкослойными модулями; г–ж) – ряжевые водоприемники с фильтрами I и III типа; з) – консольный водоприемник с фильтром II типа; 1 – фильтр; 2 – вихревые камеры; 3 – самотечные трубы; 4 – загрузка ряжа; 5 – каменная наброска; 6 – фашинный тюфяк; 7 – тонкослойные модули; 8 – насосная станция

вающие достаточно надежный водоприем из разных источников в разных регионах, в том числе и при достаточно больших проявлениях шуги и водорослей (25...100 тыс. кл/мл). Исследованные в лабораториях и в натуре водоприемники А.С. Образовского с фильтрами I и III типа

крупностью 7...10 см предусматривают обратную промывку и гидроимпульсную регенерацию фильтров (рис. 6.3 г—е). Заслуживает внимания широко используемый ряжевый водоприемник (типовой) на $Q_{отб} \leq 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ при $v_{вх} \leq 0,1 \text{ м/с}$ с заполнением однородным сортированным щебнем или в 2 слоя крупностью 15...150 мм (рис. 6.3 ж). Водоприемные оголовки (рис. 6.3 з...ж) с фильтрами распространены наиболее широко и обеспечивают надежную защиту от водорослей (планктона), забирая воду из наиболее глубоких слоев (в водохранилищах) — ниже 3...4 м, не нарушая стратификации и не вовлекая верхние, особенно насыщенные водорослями, массы воды [1, 15]. Водоприемники с фильтрами II типа с отбором воды снизу вверх обеспечивают забор даже сильно загрязненной взвесью и планктоном воды из крупных водоемов (рис. 6.3 з).

Водоприемники, отнесенные к инфильтрационным, инфильтрационно-фильтрующим, комбинированным [2, 6, 17] обеспечивают радикальное решение проблемы очистки воды от взвесей в отбираемой воде. Водозаборно-очистные сооружения следует устраивать так, чтобы их водоочистная и защитно-барьерная роль осуществлялась даже при самых неблагоприятных условиях. Достижение характеристик (гидравлических, технологических, конструктивных, строительных и пр.), обеспечивающих наилучшую комплексную защитно-барьерную и водоочистную функции, возлагается на фильтрующие элементы водоприемников.

В последние годы в практику водоснабжения интенсивно внедряют водоприемные фильтрующие сооружения, использующие дренажно-распределительные, водосборные и промывные устройства на основе полимерных фильтрующих материалов, нанесенных на каркасные трубофильтры (производство НПФ «Экотон», Белгород, Россия). Фильтрующий водоприемник с использованием дренажно-распределительных систем «Экотон» (из р. Лена, Якутск) [36] на $Q_{сут} \leq 250 \text{ тыс. м}^3$ успешно эксплуатируется при среднегодовой мутности воды $M \leq 150 \text{ мг/л}$ при шуголедовых помехах до 40 сут в год в условиях «блуждающего» русла с 1996 г.

6.2. Особенности отбора воды фильтрующими водоприемниками

6.2.1. Отбор воды из водотоков

Для выбора типа и конструкций водоприемников необходимо определять границы области питания и границы водоотбора. Из немногих известных работ по этому вопросу [41...44] наиболее приемлема методика А.С.Образовского. В вышерасположенном, недеформируемом водоотборе, поперечном сечении речного потока (в водоеме по окружности) выпускают индикаторы (краску, шарники эмульсии и др.). Точки выпуска координируют относительно поверхности и характерных осей водоприемников. В выбранном поперечном сечении потока фиксируют только те точки, из которых в исследуемые водоприемные отверстия попадают выпускаемые индикаторы. Из-за турбулентного рассеяния фиксирование границ водоотбора и области питания относительно приближено, но в целом можно установить достаточно четкую картину. Зафиксированные таким образом точки, будучи вынесенными на поперечное сечение потока, дают некоторую кривую, которую и принимают за границу водоотбора.

Через границы водоотбора, как видно из рис. 6.4., проходит расход $Q_{гр}$, превышающий расход $Q_{вх}$, забираемый водоприемником. Это объясняется турбулентным рассеянием расхода, проходящего мимо водоприемной площади. Чтобы в пределах границы водоотбора проходил лишь расход $Q_{вх}$, следовало бы определять их из условия захвата в водоприемник не менее половины индикаторов, выпущенных из какой-либо точки этой границы. Но тогда область питания не характеризовалась бы в полной мере.

Расход, проходящий через границы водоотбора

$$Q_{гр} = Q_{вх}(1 + \chi), \quad (6.1)$$

где χ — коэффициент рассеяния, рекомендуемый [41] в пределах $\chi \cong 0,15...0,3$.

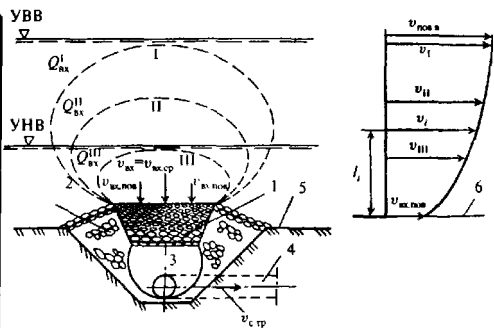


Рис. 6.4. Определение границ водоотбора:

- 1, II, III – варианты контура области водоотбора; 1 – фильтр;
- 2 – каменистая наброска; 3 – аванкамера; 4 – самотечный трубопровод; 5 – уровень дна; 6 – уровень водоприема

Это означает, что $v_{вх}$, рекомендуемые СНиП [21] и в литературе [45], являются усредненными и не учитывают действительной картины водоотбора. Отбираемому из потока расходу $Q_{вх}$ необходимо придать поперечную скорость $v_{вх}$. Эта скорость возникает при понижении в водоприемном отверстии пьезометрического давления на значение Z , одинаковое для всех точек водоприемной площади, на которой развивается и одинаковая поперечная скорость $v_{вх.пов}$. Независимо от размеров водоприемной площади и забираемого расхода скорость на «контуре» водоприема практически равна скорости течения в реке, т.е. $v_{вх.пов} = v_a$, из-за деформаций втекающего потока. Коэффициент бокового сжатия ϵ приближенно равен отношению условной средней скорости входа $v_{вх}$ к скорости в реке v_a , т.е.

$$\epsilon \approx \frac{v_{вх}}{v_a} \tag{6.2}$$

Условие $Q_{гр} = Q_{вх}(1 + \epsilon)$ является первым требованием к определению контура границ водоотбора, если последние строить по расчетным данным, т.е. по

$$\int_0^{\Omega_{отб}} v_i d\Omega = (1 + \chi) Q_{вх}. \quad (6.3)$$

Граничную линию области водоотбора можно приближенно рассматривать как линию, для каждой точки которой выполняется условие

$$l_i v_i = \text{const}, \quad (6.4)$$

где v_i — скорость в точке i граничного контура; l_i — расстояние от точки i до проекции водоприемного отверстия на плоскости сечения потока, на котором строят контур границ водоотбора (см. рис. 6.4).

Размеры области питания существенно зависят от числа $M = v_{вх}/v_a$. Чем меньше это значение, тем ограниченнее площадь области питания, тем форсированнее водоотбор, тем интенсивнее вовлекаются взвесь и иные загрязнения к водоприемной плоскости. Доказана справедливость выводов сибирских специалистов [2, 16, 25, 38, 65], что при водоотборе из рек следует стремиться к максимальному отходу от сближения значений Q_p на участке водоприема (доли Q_p) и $Q_{вх}$ ($Q_{отб}$), т.е. избегать режимов деления при водозаборе.¹ По А.С.Образовскому [41, 61], возможны три режима втекания в водоприемник, характеризуемые значением $M = v_{вх}/v_a$:

- водообмен при $M_1 \leq 0,11$; (6.5)

- переходный при $0,11 \leq M_2 \leq 0,17$; (6.6)

- деление при $M_3 > 0,17$. (6.7)

Установлено исследованиями и на практике [2], что скорость в поле отбора $v_{вх.пов.}$ оказывается значительно

¹ Эта проблема тесно связана с предельным водоотбором [20, 62, 63], см. также работы В.И. Синотина [7].

больше средней расчетной скорости входа $v_{вх}$. На поверхности фильтра $v_{вх.пов}$ близка к скорости v_a . Более надежен водоотбор при водорослях, шуге и прочих в режиме водообмена, обеспечивающего наименьшее значение коэффициента ϵ . Решающий фактор – влияние водоворотов, возникающих в сечении входа (в пространствах между частицами фильтра) и создающих по всей $\Omega_{вх}$ режим втекания, близкий к водообмену, который имеет место при малом водоотборе. Втекание в фильтр может характеризоваться четырьмя схемами в зависимости от значений M , определяемых значениями v_a , средних значений $v_{вх}$, фактических скоростей втекания $v_{вх.пов}$. (рис. 6.5). При $M > 0,17$ имеет место режим деления, при котором поверхность фильтра обеспечивает втекание масс воды со всеми взвесями (наносы, водоросли, планктон, шуга и др.), вызывая его засорение. При водообмене ($M \leq 0,11$) фильтр обеспечивает за счет водоворотов отталкивание основной массы водорослей, взвеси и шуги, ликвидируя его забивку или переохлаждение. Этим объясняется надежный водоотбор из взвесенесущих (планктонсодержащих) потоков при малых $v_{вх}$. Рекомендуемая $v_{вх} \leq 0,05$ м/с при v_a в межень до 0,7...1,0 м/с дает $M \approx \frac{v_{вх}}{v_a} \cong \frac{0,05}{0,7...1,0} \cong 0,07...0,05$, т.е. ($M_2 = 0,11$), соответствующее режиму водообмена. Рис. 6.5 поясняется данными табл. 6.1.

Таблица 6.1

Характерные режимы втекания в фильтр

Режим втекания	I – водообмена	II – переходный	III – переходный	IV – деления
Критериальное число	$M_1 = 0$	$M_2 = 0,11$	$M_3 = 0,17$	$M > 0,17$
Средние (условные) $v_{вх}$	$v_{вх} = 0,1$	$\frac{v_{вх}}{v_a} < 0,11$	$\frac{v_{вх}}{v_a} < 0,17$	$\frac{v_{вх}}{v_a} < 0,17$
Фактические $v_{вх.пов}$	$\frac{v_{вх.пов}}{v_a} = 0,25$	$\frac{v_{вх.пов}}{v_a} = 0,4$	$\frac{v_{вх.пов}}{v_a} = 0,6$	$v_{вх.пов} \rightarrow v_a$

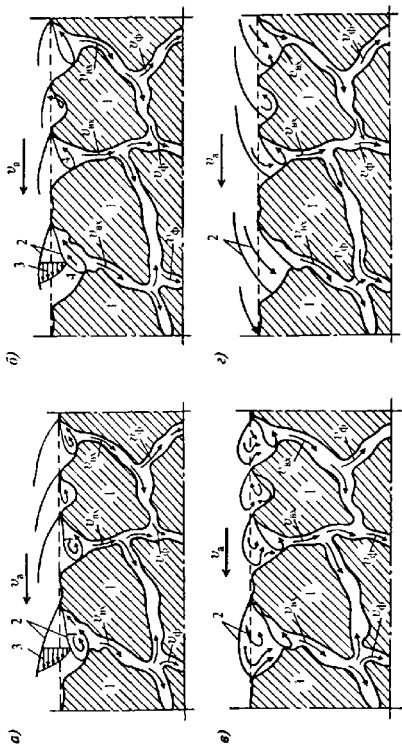


Рис. 6.5. Режимы втекания воды в фильтр (щебень, $d = 50 \dots 80$ мм):

а) — режим водообмена ($M_1 = v_{вх}/v_a < 0,07$); б) — режим переходный ($M_2 < 0,11$); в) — то же, ($M_2 < 0,17$); г) — режим деления ($M > 0,17$); 1 — щебень; 2 — границы смешения речных струек со струйками входного водоворота; 3 — эпюра распределения скоростей в зоне смешения; 4 — подворорот на плоте

На входе в фильтр за выступами частиц возникают водовороты по всей его площади, создавая наилучший режим втекания, близкий к водообмену. Возникающие вихри — водовороты за гранями камня отталкивают водные массы со взвесью (водорослями) от плоскости водоприемника. Четко прослеживаются интенсивные обратные токи из фильтра в поток, не мешающие относительно равномерному втеканию $Q_{вх}$. Поэтому фильтрующие поверхности даже с крупными фильтрами не закупориваются водорослями, взвесью и не обледевают.

Водозаборно-очистные сооружения должны максимально удовлетворять всем общеизвестным требованиям к сооружениям водоотбора, обеспечивая очистку воды в различных природно-климатических и гидрологических условиях. Надо учитывать, что водоотбору в каждом регионе, бассейне, источнике, створе и прочем сопутствует масса как общих, так и специфических условий. Необходима индивидуализация типов водоприемников по конкретным условиям и режиму водоисточников. Изучение применения многообразия типов и модификаций фильтрующих водоприемников в различных природно-климатических зонах позволяет сделать ряд предложений к выбору водозаборно-очистных сооружений с защитно-фильтрующими элементами.

Конкретные условия (интенсивность взвесей, шуги и водорослей, природно-гидрологические особенности и др.) могут существенно изменять компоновку водозаборно-очистных узлов. Технологические узлы фильтрующего водоприема могут включать достаточно сложные сооружения (плотины, гидроузлы, защитные комплексы, циркуляционные насосные станции, обводнительные бассейны и каналы, терморегуляционные мероприятия и т.д.). В зависимости от характера источников и принятой модификации водоприемников, необходимых регулирующих мероприятий и другой технология фильтрующего водоприема может быть: фильтрующей; инфильтрационно-фильтрующей; комбинированной. Каждое из этих направлений достаточно обширно и многогранно (см. рис. 6.1, 6.2), имеет свои преимущества и свой диапазон

применения. Требования нормативных документов [6, 25] в части превышения низа водоприемных поверхностей над дном $h_{н.в} \geq 0,5$ м, нормативных глубин, скоростей $v_{вх}$, рекомендаций по борьбе с шугой и другими для большинства рек СНГ и РФ невыполнимы.

Большинство водозаборов с фильтрующим приемом были реализованы вопреки требованиям нормативов, с опасениями отойти от традиционных решений. Сложившиеся недоверие и недооценка огромных преимуществ фильтрующего водоприема преодолеваются лишь в последние годы. Фильтрующие водоприемники оправдали себя в самых сложных природно-гидрологических условиях: в районах мерзлоты [2, 25], Сибири [14, 16, 65], морских акваторий [4...7, 22, 23], для рыбозащиты [1...4], при перемерзании рек [2] и т.д. Причем диапазон значений $Q_{вх}$ — от десятков $\text{м}^3/\text{сут}$ до сотен $\text{м}^3/\text{с}$ [1...5].

Расположение поверхности водоприемного фронта (фильтрующих элементов) на уровне дна (ниже) — часто единственно возможное решение водозабора из малых источников, целесообразное по экологическим, эксплуатационно-технологическим и строительно-экономическим соображениям. Регулирование стока малых, перемерзающих или пересыхающих рек (основных источников водоснабжения в большинстве районов РФ и СНГ) приплотинными водохранилищами — задача вынужденная и дорогостоящая. Фильтрующие водозаборно-очистные сооружения позволяют решить вопрос о надежном водообеспечении совместным использованием поверхностного и подруслового стока при простейших мерах по регулированию режима и запасов воды [1, 2, 16, 17] переводом части поверхностного стока в подрусловый, созданием простейших систем и устройств ИППВ [88...91].

Подобная практика водообеспечения преобладала в XX в. [10...26], особенно с 50-х годов, за рубежом, где приемы и сооружения совместного использования подрусловых и поверхностных вод без сложных и дорогостоящих регуляционно-аккумулирующих систем рассматривались основным направлением повышения эффективности, целесообразности, экологической надежности водоприемных

сооружений [34, 68]. Практикуемые способы и устройства подпитки, перевода поверхностных вод в подрусловые весьма разнообразны. Общими для них являются простота, ориентация на минимальное ресурсо- и энергопотребление, технологическое освоение и использование природных процессов.

Развитие фильтрующего водоприема, в том числе и как средства очистки воды от фитозагрязнений (водорослей), проектные и опубликованные материалы показывают, что большинство водоприемников с защитно-фильтрующими элементами превращаются в инфильтрационно-фильтрующие или комбинированные модификации. Фильтрующие колодцы, галереи, дренаи, их комбинации работают как инфильтрационно-фильтрующие. Малые $v_{\text{вх}}$ при развитии $\Omega_{\text{вх}}$ с преимущественно горизонтальным или откосным размещением фильтров предполагают возможности регенерации (промыва) всей толщи фильтров, смены верхних, закольматированных слоев, прочистки внутренних полостей водосборных и водоотводящих устройств от отложений и др. Обеспечивается отбор поверхностных и подрусловых вод. При этом поверхностные воды со всевозможными видами взвесей, водорослей, планктона и другого переводятся в подрусловые, очищаясь на фильтрующих элементах (рис. 6.6). Пополнение подрусловых вод решается обводнением аллювия [1, 16, 25, 65, 69].

Технология водоприема должна учитывать значения коэффициентов предельного водоотбора $K_{\text{пр}} = Q_{\text{д}}/Q_{\text{вх}}$, определяемого требованиями рыбоохраны, расходов и глубин при $Q_{\text{вх.макс}}$, особенностей русла, геоморфологии долины, соотношения поверхностных и подрусловых аллювиальных вод и пр. [1, 2, 65].

Значительно упрощаются водозаборно-очистные сооружения при размещении погружных насосов (наклоно, горизонтально, вертикально) или гидроэлеваторов непосредственно в конструкциях водоприемников под достаточно мощными фильтрующими обсыпками (рис. 6.7). Такие решения приемлемы в широком диапазоне гидрологических условий при больших колебаниях уровней в

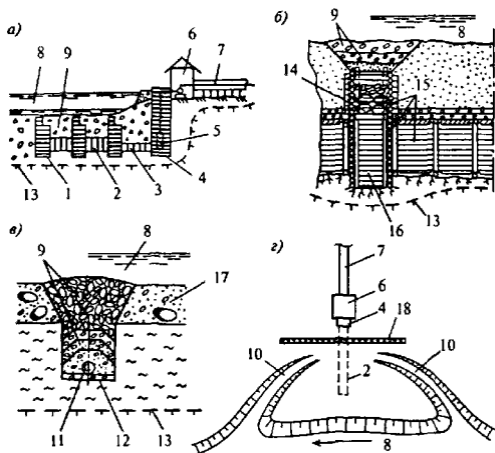


Рис. 6.6. Водоприемники комбинированного действия:

а) – фильтрующая галерея с обводнительными колодцами; б) – фильтрующий колодец; в) – фильтрующая траншея; г) – галерея с фильтрующими каналами; 1 – обводнительный колодец; 2 – галерея; 3 – самотечная часть галерей; 4 – шахта; 5 – насос; 6 – насосная; 7 – водоводы; 8 – река; 9 – фильтр; 10 – обводнительные фильтрующие каналы; 11 – дрена; 12 – траншея; 13 – водоупор; 14 – утепление; 15 – элементы деревянных галерей; 16 – колодец; 17 – местный грунт; 18 – берегоукрепление

источниках. Фильтрующие слои водоприемников обеспечивают в этих случаях защищенность электронасосов от абразивного износа. Выбирая наиболее приемлемые конструкции защитно-фильтрующих элементов водозаборно-очистных сооружений, следует учитывать принципиально важные положения:

- водоотбор необходимо осуществлять в границах акватории (если позволяет водоисточник), совпадаю-

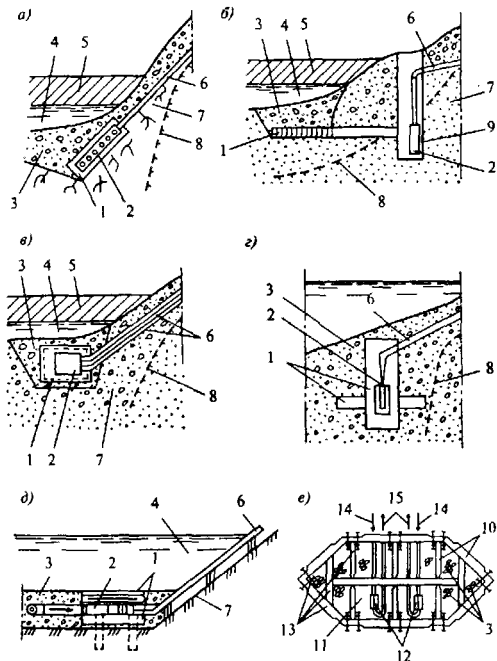


Рис. 6.7. Размещение насосов:

а) — в фильтрующем водоприемнике; б) — в затопляемом колоде; в) — в галерее; з) — в лучевом водозаборе; д) — в горизонтальной штольне; е) — в ряжевом оголовке; 1 — водозабор; 2 — насос; 3 — фильтр; 4 — река; 5 — лед; 6 — напорный трубопровод; 7 — берег; 8 — коренные породы; 9 — шахта; 10 — корпус; 11 — аванкамера; 12 — гидрозелеваторы; 13 — конструкции ряжа; 14 — подача воды; 15 — отбор воды

щих с границами области питания — зоны водоотбора. Гарантированная надежность водоприема и максимальная очистка воды обеспечиваются, если границы области питания отделены от водоисточника, особенно в реках. Надежнее всего — капитальные фильтрующие дамбы, фильтрующие ковши, ограждения в виде фильтрующих стенок, уступов, откосов. Известно, что устройство запаней [15], барьеров из искусственных волокон [70], пневмобарьерных струй по контуру водоотбора [71, 72] и другого обеспечивает значительное снижение взвеси, планктона и прочего в отбираемой воде. При капитальных ограждениях, по существу, область водоотбора ограничена пределами ограждения [4, 22, 23, 61, 69, 72], что: дает более устойчивую структуру водоприемной области и границ водоотбора; сокращает поступление взвеси, водорослей, планктона из источника; формирует условия, обеспечивающие эффективную работу защитно-фильтрующих элементов;

- необходимо обеспечить водоотбор со скоростями $v_{вх}$, приближенно равными или меньшими величин гидравлической крупности основной массы взвесей в отбираемой воде, считая водоросли и шугу;
- определять величины гидравлических крупностей шуги, взвеси и водорослей (планктона).

6.2.2. Отбор воды из крупных водоемов

Технологии фильтрующего водоприема и водозаборно-очистных сооружений из водоемов имеют существенные отличия. Крупные водоемы — моря, озера, водохранилища как источники водоснабжения имеют нестационарное качество воды, значительные перепады температур по глубинам, по мутности, кислородному режиму; характерна обильная засоренность прибрежных зон водорослями, мусором, продуктами эрозии берегов и др. Специфичен гидробиологический режим водоемов, особенно в развитии водорослей, фитопланктона. Помехи водозабору создают ветровые нагоны и волновые воздействия,

штормы с надвигом к водозабору шуговых полей, мощных скоплений водорослей, ледовых масс, погруженных до 5...7 м припаев, торошения и др. [1...7, 15, 22, 23, 69, 74]. Литературные данные по режиму водоемов свидетельствуют о широком спектре всевозможных помех отбору воды, зависящих от типа и морфологии водоема, его географо-климатических условий, требований водопотребителя к объему и качеству отбираемой воды. Мощность воздействий на водоприемник (штормы, нагоны льда и водорослей, торосы и пр.) предполагает капитальность сооружений, поэтому типовые водоприемные затопленные оголовки применяют редко. Сложилась тенденция перехода от затопленных и островных незатопляемых водозаборов (крибы) к водоприемникам с фильтрующими дамбами [4...7, 15, 74] различных конструкций, фильтрующими ковшами, дренажно-фильтрующими устройствами под береговыми сооружениями [37], защитно-фильтрующими дамбами [75]. В Сибири целесообразны фильтрующие водоприемники разных типов: фильтрующие дрены, фильтрующие откосы и стенки, фильтрующие ряжевые набережные, фильтрующие плотины с отбором воды в нижних бьефах и др. [2, 65].

Для эксплуатации оправданы водозаборно-очистные сооружения, предусматривающие уход от всевозможных помех водоприему под защиту сооружений, являющихся одновременно и защитными, и обеспечивающими функции водоотбора, т.е. защитно-фильтрующими элементами. Чаще всего это разного типа фильтрующие дамбы; они позволяют устранить практически полностью помехи водоотбору от шуги и водорослей, сохранить температурную стратификацию водоема, обеспечить рыбозащиту, минимально воздействуя на режим водоема; улучшается качество воды.

При прозрачной воде на глубину 1 м проникает $\approx 36\%$ тепла солнечной радиации. В пресноводных водоемах развитие водорослей по глубине зависит от поступления тепла и света [49...54]. Молекулярная диффузия, теплопроводность и теплота трения мало влияют на изменение температуры воды по глубине; на распределение и пере-

мещение водорослей (планктона) существенно воздействуют также турбулентное перемешивание, плотностные и ветровые течения, нагоны, воздействия волн, компенсационные и вдольбереговые течения и др. Глубже 10...12 м водоросли составляют $\leq 5...7\%$ общей их массы в толще воды. На глубинах ≈ 10 м формируется температурный скачок с разностью температур воды на поверхности и по глубине от 5 до 12 °С [74]. Для водоемов наиболее целесообразны водозаборно-очистные сооружения с развитым водоприемно-фильтрующим фронтом: фильтрующие откосы, фильтрующие стенки и т.п. с фильтрами мощностью ≥ 5 м из каменно-песчаных смесей.

Каменно-песчаные смеси без иловатых и глинистых частиц часто используют в практике водоснабжения и водоприема. Фильтрационные характеристики их существенно отличаются от свойств камня (щебня, гравия) и песков. Пористость камня p_k при $d_k \approx 20...60$ мм составляет 0,45...0,48; в смеси с песком ($p_p \approx 0,55...0,7$); $p_{см} \approx 0,20...0,25$. Пористость смеси $p_{см}$ в общем случае

$$p_{см} = p_k p_p \quad (6.8)$$

В каменно-песчаных смесях, используемых для фильтров водоприемников, значения $K_{ф.см}$, по уточненным данным [2, 15], определены, исходя из формулы Дюпюи:

$$K_{ф.см} = \frac{2Q_{отб} a_{вх}}{b_{вх} (h_1^2 - h_2^2)}, \quad (6.9)$$

где $Q_{отб}$ — отбираемый расход; $a_{вх}$ — длина рабочей части водоприемного фронта; $b_{вх}$ — то же, ширина; h_1 и h_2 — соответственно глубины в верхнем и нижнем бьефах (над и за фильтрующим фронтом; по Г.М. Кузовлеву [5] — над водоприемным фильтром и в береговом колоде).

Плотность каменно-песчаной смеси $\gamma_{см}$ влияет на значение $K_{ф.см}$. Плотность

$$\gamma_{см} = \gamma_k + \gamma_p p \quad (6.10)$$

где γ_k , γ_p — соответственно плотность камня и песка, г/см³; $\gamma_p = 1,4...1,9$ г/см³, p — пористость песка.

Значение $K_{\phi, см}$ правомерно определять формулой, рекомендуемой для расчета обратных фильтров гидросооружений [29]:

$$K_{\phi, см} = \frac{g}{246\nu} \sqrt[3]{\eta_{см}} \frac{\rho_{см}^3}{(1 - \rho_{см})^2} d_{см, 17}^2, \quad (6.11)$$

где g — ускорение силы тяжести; $\eta_{см}$ — коэффициент разнозернистости каменно-песчаной смеси; $d_{см, 17}$ — 17 % (по весу) диаметр частиц смеси; ν — кинематический коэффициент вязкости воды.

Формула (6.11) позволяет достаточно точно вычислять $K_{\phi, см}$ разнозернистой каменно-песчаной смеси, если известен ее гранулометрический состав и $\rho_{см}$, что следует определять в каждом конкретном створе или сооружении. Это подтверждено натурно-производственными экспериментами в условиях действующих и строящихся водозаборов для многих объектов [1, 2, 5].

Значения K_{ϕ} камня, песка и смеси, по исследованиям, меняются в пределах от 2,5 до 3. Уменьшение ρ_x неизбежно увеличивает разницу между проницаемостью песка и каменно-песчаной смесью, в связи с чем следует принимать гранулометрический состав фильтров, $K_{\phi, см}$, фильтрационные характеристики по свойствам песка, заполняющего поры каменного материала. $K_{\phi, см}$ с достаточной точностью можно вычислять по формуле (6.11), следующей закону Дарси.

Водоприемники типа «фильтрующий откос» в первом приближении работают как горизонтальные префильтры (рис. 6.8). Для снижения «грязевой» нагрузки (взвесь любых видов, водоросли, планктон и др.) на водоочистные сооружения в отечественном и зарубежном водоснабжении достаточно распространено использование водоприема, хотя и в различных решениях. Фильтры из гравийно-галечниковых материалов крупностью 4...25 мм обладают, как и сортированные материалы этой крупности, $K_{\phi} \approx 20...25$ м/сут. Пленка осадка на поверхности фильтра создает условия протекания процессов биологического окисления и сорбции органических веществ, не требуя квалифицированного обслуживания и затрат на окисли-

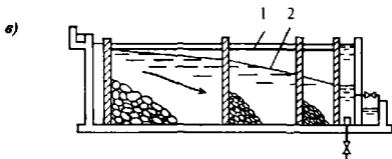
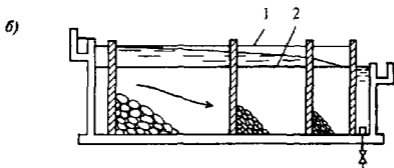
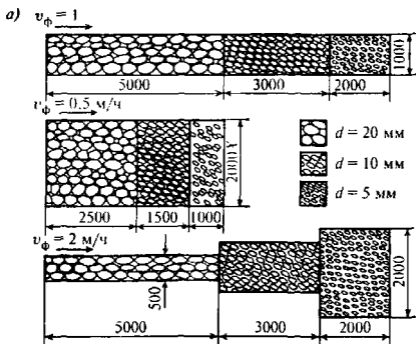


Рис. 6.8. Горизонтальные префильтры:

a) – варианты конфигурации и расчетных скоростей фильтрации; б) – префильтр с постоянным уровнем воды на выходе; в) – префильтр с переменным уровнем воды на выходе; 1 – уровень воды в чистом фильтре; 2 – то же, в заиленном

тели, сорбенты, реагенты. Использование медленной фильтрации в сооружениях такого типа целесообразно и эффективно в любых природно-климатических условиях [2, 25]. При этом создаются предпосылки задержания многих органических микрзагрязнений, в том числе предшественников тригалометанов [9, 20]. Известно [50, 60], что граиулометрический состав взвеси находится в основном в пределах 2...20 мкм при среднем значении 3...7 мкм.

Значительную роль в процессах безреагентного осветления воды фильтрованием на подобных сооружениях играет агрегативная устойчивость взвесей, которая во многом определяется ионным составом адсорбционного слоя взвешенных (обычно глинистых) частиц. Преобладание двухвалентных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+}) обуславливает более высокую способность взвеси к аутокоагуляции и меньшую стабильность (агрегативную устойчивость) осветляемых суспензий. Усредненные данные о характере ионного состава природных вод в различных регионах приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2.

Ионный состав природных вод

Регион	SiO_2	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	HCO_3^-	Σi
Европейская часть РФ и СНГ	6,8	24,2	5,2	3,2	80,1	133,5
Азиатская часть РФ и СНГ	11	16,6	4,3	6,6	66,2	112,5

В Швейцарии установлено [64], что для горизонтальной фильтрации характерны высокие и устойчивые коэффициенты фильтрации благодаря осаждению взвеси (водорослей) в слоях крупнозернистой загрузки фильтров. Форма и материал загрузки большого значения не имеют. Осуществляется регенерация горизонтальных фильтров. Секции с грубозернистой загрузкой успешно регенерируются с использованием дренажа (с понижением уровней

при опорожнении части фильтра). Наиболее мелкозернистая загрузка 1,5...2 мм регенерируется, как обычные медленные фильтры – промывкой или удалением (заменной) фильтрующего слоя.

Наилучшая очистка забираемой воды в фильтрующем откосе достигается при постоянстве средних скоростей фильтрационного потока через его тело. Менее эффективна фильтрация с различной v_f в соответствующих слоях (максимальной – в слоях с крупными фракциями и минимальной – в секциях с мелкой загрузкой). При длине пути фильтрации ≈ 5 м и крупностями фильтра по направлению движения воды соответственно 20, 10 и 5 мм с мутностью 50...300 мг/л обеспечивается фильтроцикл в 400 дней с мутностью осветленной воды 0,7...5 мг/л, что соответствует стандартам большинства стран.

6.2.3. Отбор воды из малых водоемов (прудов)

Для большинства многочисленных мелких водопотребителей (поселки, фермы, агропромышленные объекты и пр.) основным источником водоснабжения чаще всего служат малые водохранилища – пруды на водотоках с сезонным стоком, которые перемерзают, пересыхают и т.п. Наиболее сложная и труднорешаемая проблема при водоснабжении из прудов – борьба с водорослями (до 27,6 тыс. кл/мл, Пензенская обл.) в течение всего лета. Целесообразное решение головных сооружений систем водоснабжения для подобных объектов (3...50 м³/ч) представляется в виде водозаборно-очистных сооружений (фильтрующих или инфильтрационно-фильтрующих), обеспечивающих очистку от планктона (водорослей).

Совмещение водозаборных и водоочистных сооружений наиболее важно для малых объектов. В зависимости от характера водоисточников и условий проявления в них водорослей, шуголедовых помех, засоренности промышленными и природными взвешями, наносами и прочим возможны различные приемы, сооружения и устройства для защиты. Совмещать технологию водоотбора

и улучшать качество воды наиболее целесообразно префильтрами для очистки воды, плавучими водозаборами-отстойниками с тонкослойными модулями. Системы с искусственным пополнением подрусовых вод и инфльтрационно-фильтрующие водозаборы также являются комбинированными водозаборно-очистными сооружениями.

Для большинства локальных объектов водозаборно-очистные (водоприемно-очистные) сооружения и устройства доступнее и экономичнее всего реализовывать в виде различных модификаций фильтрующих, инфльтрационно-фильтрующих и комбинированных элементов из жестких (щебень, гравий, керамзит и др.), легких полимерных (пенополистирол, эластолокнистые и др.), пористобетонных и иных материалов. Упростить и сделать более доступными водозаборно-очистные сооружения можно путем использования инфльтрационных вод малых водохранилищ и прудов, совмещением дренажей грунтовых плотин с водозаборами для улучшения качества воды, в том числе и на малых (пересыхающих, перемерзающих) водотоках. Создают специальные фильтрующие плотины, фильтрующие вставки в плотинах, пористобетонные элементы (трубофильтры, дренажи, плиты и т.п.) с перехватом дренами в нижних бьефах профильтрованной воды, которая требует лишь обеззараживания [2, 14, 15, 18, 89].

Для забора воды $Q_{вх} \leq 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ из малых водоемов, прудов и озер можно использовать некоторые из конструкций водоприемников, выполняющих функцию водозаборно-очистных устройств: фильтрующие колоды (рис. 6.9 а), фильтрующие дренажи (рис. 6.9 б), и др. [12, 15]. Конструкции этих водозаборов просты в устройстве и эксплуатации, доступны любому хозяйству; не требуют специализированных строительно-монтажных работ, дефицитных материалов; пригодны для любых природно-климатических условий. Несмотря на простоту конструкций, водоприемники этого типа, работающие по принципу горизонтальных префильтров, обеспечивают (при толщине фильтрующей загрузки $\geq 2..2,5 \text{ м}$) высокий уровень

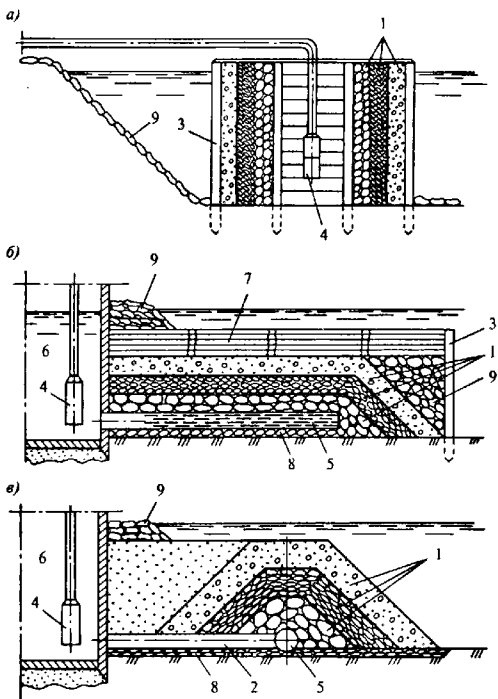


Рис. 6.9. Водоприемники из малых водоемов
($Q_{\text{вз}} < 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$):

а) — фильтрующий колодец; б) — фильтрующая дрена; в) — фильтрующая призма-откос; 1 — фильтр; 2 — самотечный трубопровод; 3 — ряж; 4 — насос; 5 — дрена; 6 — береговой колодец; 7 — фашины; 8 — подготовка; 9 — каменная наброска

очистки забираемой воды от взвесей и водорослей до показателей, требующих лишь обеззараживания¹. Взвесь и водоросли (планктон, фитозагрязнения) при $v_{вх} \leq 0,02 \dots 0,005$ м/с не проникают в наиболее мелкие фильтрующие слои. Регенерацию фильтров можно производить обратным током воды по устанавливаемым в толще фильтров перфорированным промывным трубопроводам [2, 65].

Бесплотинный водоприем из малых, сезонно действующих водотоков (перемерзающих, пересыхающих, сильно меандрирующих, многорукавных и пр.) – наиболее приемлемая и эффективная альтернатива дорогостоящим водозаборам с приплотинными водохранилищами. Проблема водной растительности в этих водоисточниках крайне актуальна. Исходя из наибольшей вероятности водоотбора из таких водоисточников для большинства водопотребителей РФ, СНГ и многих стран мира очевидна необходимость выработки приемов и сооружений отбора сравнительно небольших ($300 \dots 1000$ м³/сут) расходов. М.Н. Черепашинский, А.А. Сурин, Н.В. Ереснов и другие указывали на сложность водообеспечения многочисленных мелких объектов, не имеющих ресурсов для создания централизованных систем водоснабжения, санитарно надежных и технически современных. Эту задачу можно решить применением водозаборно-очистных комплексов (сооружений), максимально приспособленных к режиму водотоков.

Оправданно при этом развитие обширного водоприемного фронта. Обеспечение $v_{вх} \leq 0,05 \dots 0,005$ м/с исключает кольматацию фильтрующих элементов водозаборов, влияние наносов, шуги, водорослей, руслопереформирований. Радикально решена рыбозащита и устранение помех планктона. Среднюю скорость фильтрации $v_{ф.ср.}$ в фильтрах водоприемников с дренажно-отводящими устройствами, исключаящую возникновение турбулентнос-

¹ Задерживается $\geq 95 \dots 97$ % имеющейся в источнике взвеси (исходная взвесь до 50 мг/л; водоросли – 5...12 тыс. кл/мг).

ти в зоне водоотбора, можно определить по формуле Хазена [47]:

$$v_{\phi, \text{см}} = \frac{JC(0,7 + 0,03t_w)d_{\phi}^2}{t_w}, \quad (6.12)$$

где J – гидравлический градиент; C – коэффициент, равный 1000; t_w – температура воды, °С; d_{ϕ} – действующий диаметр фильтра дрены, м.

Для практики максимально допустимый водоотбор $Q_{\text{вх, макс}}$ фильтрами дрен, обеспечивающими наибольшую очистку воды, по формуле И.М. Квашнина равен [46]:

$$Q_{\text{вх, макс}} = m_{\text{алл}} + D_{\phi, \text{др}} L_{\text{др}} v_{\phi, \text{доп}}, \quad (6.13)$$

где $m_{\text{алл}}$ – мощность аллювия до подошвы дрены, м; $D_{\phi, \text{др}}$ – внешний диаметр фильтра дрены, м; $L_{\text{др}}$ – длина рабочей части дрены, м; $v_{\phi, \text{доп}}$ – допустимая скорость входа воды в фильтр дрены, м/с:

$$v_{\phi, \text{доп}} = 65 \sqrt{K_{\phi, \text{алл}}}, \text{ м/с}, \quad (6.14)$$

где $K_{\phi, \text{алл}}$ – коэффициент фильтрации обводненных пород аллювия, м/сут.

Последняя формула предложена С.К. Абрамовым и В.С. Алексеевым [46, 47]. Рассматривая систему «водоприемно-дренажное устройство (дрена, галерея) – аллювиальный пласт – поверхностный водоток» как единую, гидравлически связанную через сопротивление фильтрующей обсыпки, критический $Q_{\text{вх, кр}}$, обеспечивающий требуемую степень очистки забираемой воды, определяется формулой И.Ф. Володько, сходной с формулой (6.65):

$$Q_{\text{вх, кр}} = 2\pi r_{\phi} m_{\text{алл}} K_{\phi, \text{алл}} J_{\text{кр}}, \quad (6.15)$$

где r_{ϕ} – внешний радиус фильтрующей обсыпки фильтра, м; $m_{\text{алл}}$ – мощность аллювия, м; $J_{\text{кр}}$ – критический градиент, исключаяющий кольматацию фильтрующей обсыпки дрены и ее суффозию.

При достаточно малых слоях аллювия ($\geq 3..4$ м) и слабых его фильтрационных характеристиках ($K_{\phi} \leq 10..12$ м/сут) необходимы конструкции водоприемников с фильтрами,

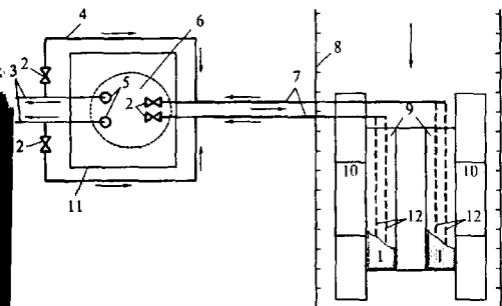


Рис. 6.10. Водозабор из малых водотоков:

1 — фильтр; 2 — задвижки; 3 — напорные водоводы; 4 — промышленные трубопроводы; 5 — насосы типа ЭЦВ; 6 — береговой колодец; 7 — самотечные трубопроводы; 8 — берега; 9 — железобетонные каналы; 10 — берегоукрепление; 11 — крепление дна; 12 — водоприемные дрены

самопромывающимися речным потоком, с расположением дренажно-отводящих устройств в жестких нефилтрующих лотках. Предусмотрена промывка фильтров. Подобная конструкция разработана, исследована и внедрена в практику водоснабжения завода и поселка из ручья (Пензенская обл.). Конструкция водоприемника приведена на рис. 6.10.

Идея создания водозаборно-очистных фильтрующих устройств на малых водотоках без возведения плотин в виде подрусовых галерей или дрен разных типов реализуется давно. А.А. Сурин и его ученики успешно воплотили индустриализацию изготовления сборных элементов гравийно-трубчатых галерей (дрен) на многих объектах при организации водоснабжения из малых рек. Секции фильтрующей дрены (стальная или тонкостенная железобетонная труба с перфорацией 30...40 %) длиной 2,5...5 м имеют трехслойный фильтр (рис. 6.11). Каждый слой

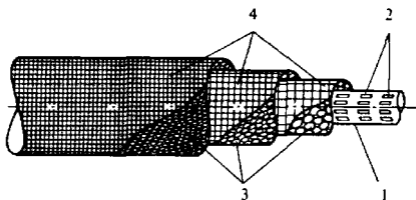


Рис. 6.11. Дрена с трехслойным фильтром:

1 — труба; 2 — перфорация; 3 — фильтр; 4 — поддерживающие сетки

фильтра толщиной $3 \dots 10$ диаметров фильтрующей обсыпки в заводских (полигонных) условиях фиксируют металлической сеткой тройного галунного или квадратного плетения ячейкой до $0,8d_1$ (d_1 — диаметр материала фильтра, первого от стенки дрены слоя). Нижний конец элемента зажимают хомутом из узкого полосового железа выше опорного кольца; при вертикальном положении трубы с подмостей засыпают фильтрующий первый слой с тщательной трамбовкой. Для придания обсыпке в сетке формы и большей жесткости конструкцию опоясывают через $0,5$ м стальной проволокой. После набивки первого слоя фильтра конструкцию зажимают хомутом в верхней части элемента. Затем на трубу с первым слоем фильтра одевают вторую сетку с диаметром цилиндра, равным диаметру трубы + 2 толщины обсыпки первого слоя + 2 толщины фильтра второго слоя. Диаметр отверстий сетки принимают до $0,8d_2$ (d_2 — диаметр фракций второго слоя). Все последующие операции выполняют аналогично изложенному выше.

Готовые секции дрены укладывают в траншею краном на полотенцевых стропах или на траверсах со стапеля. Секции соединяют металлическими стяжными хомутами или муфтами. Уложенные дрены засыпают защитным фильтром и местным грунтом. Диаметр каркаса галереи определяют по $Q_{\text{отб.тр.}}$ из уравнения

$$D_k = \frac{Q_{\text{отб.т.}}}{f \pi v_{\phi}}, \quad (6.16)$$

где D_k – внутренний диаметр каркаса галерси, м; Q – расход отбора воды, м³/сут; f – коэффициент скважности дрены (перфорации), %; L – длина дрены, м; v_{ϕ} – расчетная скорость втекания воды из аллювия в фильтр, м/сут.

Как отмечалось, v_{ϕ} можно определять по формуле (6.12), однако Ф.И. Письменский, основываясь на данных натурных исследований ЦНИИС, считает целесообразнее и точнее значения v_{ϕ} определять по формуле

$$v_{\phi} = 65 \sqrt[3]{K_{\phi, \text{алл}}}. \quad (6.16 \text{ а})$$

При этом приведенные ранее выводы С.К. Абрамова, И.Ф. Володько, В.С. Алексеева не опровергаются. С этим можно согласиться, так как размер фракций фильтра принимается в 7–10 раз больше размера частиц, содержащихся в количестве 50 % общей массы грунта (по кривой однородности аллювия). Разнообразие природно-гидрологических и гидрогеологических условий малых водотоков предполагает индивидуальный подход к выбору типа и обоснованию конструкций водозаборно-очистных сооружений, режимов их эксплуатации, характера мероприятий по обеспечению экологических и санитарно-гигиенических требований.

6.3. Основные закономерности и моделирование процессов фильтрования

В основу конструирования, строительства и эксплуатации фильтрующе-защитных и водоочистных элементов водоприемников положены закономерности фильтрации в крупнопористых и дисперсных средах применительно к обширной области инженерно-практических задач. Процессы фильтрации в крупнопористых и дисперсных средах изучали применительно к водоприему, водоочистке,

фильтрующим дамбам, сооружениям и т.д. в России [2, 7, 9, 24, 26...30] и за рубежом [32...33].

Для фильтрующего водоприема наиболее интересны работы по фильтрации в крупнопористых, крупносkeletalных грунтах и материалах, гравийно-галечниковых и галечниково-песчаных смесях, в фильтрующих русловых отложениях различной литологии и состава. Наиболее изучена фильтрация в дисперсных материалах и средах, для которых Дарси установил взаимосвязь скорости фильтрации v_ϕ от пьезометрического напора [24, 29, 39]:

$$v_\phi = K_\phi J = -K_\phi \frac{dH}{dl}, \quad (6.17)$$

где v_ϕ — скорость фильтрации, м/с; J — градиент пьезометрического напора; K_ϕ — коэффициент фильтрации, м/с, зависящий от вида материала, температуры воды и ее характеристик.

В крупнопористой каменной наброске плотин, в фильтрующих дамбах и водоприемниках, насыпях, в водоочистных префильтрах и других линейная зависимость между скоростями фильтрации v_ϕ и градиентами напора J нарушается. Критерием применимости закона Дарси служит число Рейнольдса Re

$$Re = \frac{v_\phi d}{\nu} \leq 4...6, \quad (6.18 a)$$

где d — диаметр частиц материала, мм; ν — кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Значения Re для крупнопористой наброски — 12...20 [29]. Для фильтрующего водоприема наиболее интересны работы по турбулентной фильтрации (в отличие от характеризуемых (6.18) ламинарных режимов).¹ Движение воды в крупнопористом материале переходит к турбулентному

¹ В.Н. Шелкачев использовал для числа Re вместо эффективного диаметра d более удобные характеристики — коэффициент проницаемости K_{np} и пористость ρ :

$$Re = \frac{10v_\phi \sqrt{K_{np}}}{\rho^{2,3} \nu}. \quad (6.18^*)$$

тем быстрее, чем больше его размеры. Из-за неприменимости закона Дарси для крупнопористых сред формула (6.17) видоизменилась, превратившись в зависимость

$$v_{\phi} = K_{\phi} J^{\frac{1}{m}} \quad (6.19)$$

или

$$v_{\phi}^m = K_{\phi} J. \quad (6.20)$$

Для различных условий фильтрации воды в крупнопористых средах установлены зависимости, исходя из возможности или необходимости учета параметров фильтрации в конкретных случаях и конкретных фильтрующих сооружениях, равномерности фильтрации и др. Установлено [29, 30], что вода в крупнопористом материале в отличие от мелкозернистых песков движется в турбулентном режиме, и значение v_{ϕ} в крупных ($d \geq 60$ мм) материалах выражается зависимостью

$$v_{\phi} = 35J^{0,5} \text{ см/с}, \quad (6.21)$$

т.е. значения $m = 0,5$ для равномерной фильтрации. При неравномерном движении значения K_{ϕ} и v_{ϕ} уменьшаются на 50...60 %.

М.Ф. Срибный, С.В. Избаш и другие изучали равномерную и неравномерную фильтрацию в крупнопористых средах при различных порозности, крупности и градиентах. Ими изложены результаты исследований движения чистой воды в крупнопористых материалах, установлены условия их проницаемости. М.Ф. Срибным предложена таблица коэффициентов фильтрации в крупнозернистом материале при его различной порозности. На примере рваного камня $d = 5...50$ см им установлен квадратичный закон движения воды, см/с,

$$v_{\phi} = S_0 p_0 \sqrt{dJ}. \quad (6.22)$$

С.В. Избаш, исследуя фильтрацию в округлых материалах (галька, гравий и т.п.) [29], установил сходство

фильтрации с движением поверхностных потоков и предложил обобщенную формулу равномерной фильтрации в среде любой порозности при всяком режиме движения

$$v_{\phi} = S_0 \rho_0 \sqrt{v_0^{m-2} d^{3-m} J}, \quad (6.23)$$

где m – показатель степени, равный 1 при ламинарном; 2 – при турбулентном режиме; промежуточное значение – при переходных режимах; ρ_0 – порозность материала, доли единицы; S_0 – обобщенный коэффициент Шези, аналогичный эмпирическому коэффициенту s в известной формуле

$$v_{\phi} = -\sqrt{RJ}, \quad (6.24)$$

Значение S_0 , по определению С.В. Избаша,

$$S_0 = 20 - \frac{14}{d}. \quad (6.25)$$

Последняя формула справедлива для камня $d = 0,72...6$ см. Для турбулентной фильтрации ($m = 2$) формула (6.24) имеет вид формулы (6.21). С.В. Избаш установил $m = 1,08...2,06$ при $Re = 316...5010$. Соответственно значения $\frac{1}{m} = 0,95...0,485$.

Меньшие значения относятся к «садовому» гравию $d = 5...15$ мм в смеси; наибольшие – к $d = 8...70$ мм.

П.И. Гордиенко, исследуя равномерную фильтрацию воды в остроугольных материалах (щебень), выявил основные расчетные зависимости, для $d = 0,57...4,6$ см, предложив значения m определять эмпирической формулой

$$m = 2 - \frac{0,40}{0,40 + d^2} \quad (0,1 < J < 0,8). \quad (6.26)$$

При $d \geq 5$ см мало изменяется m , почти достигшее своего предела при $d = 4,6$ см, и формула (6.24) применима для $d \geq 5$ см. При $d \geq 0,5$ см значение $m = 1,328 \geq 1$, т.е. ламинарная фильтрация уже не имеет места. В то же время не было получено и четко выраженной турбулентной фильтрации, т.е. $m \leq 2$. Достигался режим, характеризуемый $m = 1,88...1,95$. Практически фильтрация воды

происходит в переходном и турбулентном режимах. Ламинарная фильтрация возможна лишь при малых значениях J . В фильтрационном потоке могут быть зоны с ламинарным и турбулентным режимами. При $d \geq 5$ см и $J \geq 0,1$ в расчетах следует принимать значения $m = 2$.

Границы применения формул Дарси изучены недостаточно. В литературе встречаются различные рекомендации по критериям перехода от ламинарной фильтрации к турбулентной. Следует отметить, что при пористости $p = 0,3 \dots 0,5$ кинематическая вязкость воды $\nu \approx 0,01$ см²/с (при температуре $t \approx 20$ °С), а размеры пор мелкозернистых песков (материалов) порядка 1...2 мм, можно установить, что при ламинарном режиме скорости фильтрации v_ϕ малы, составляя величины до нескольких мм/с. В этой связи в фильтрационных расчетах можно пренебречь значением скоростного напора фильтрационного потока $v_\phi^2/2g$ и считать, что полный напор в фильтрационном потоке равен пьезометрическому ($H_0 = H$), а гидравлический уклон равен пьезометрическому ($J = i_p$). При движении воды в фильтрах крупнозернистых загрузок основной закон турбулентной фильтрации (напорной или безнапорной) применим в виде

$$Q = K_\phi \omega J^{\frac{1}{2}}. \quad (6.27)$$

или

$$v_\phi = K_\phi J^{\frac{1}{2}}. \quad (6.28)$$

С.В. Избаш и П.И. Гордиенко соответственно для округлых и остроугольных материалов установили зависимость коэффициента фильтрации K_ϕ от размеров и формы материалов, механического состава и порозности среды, гидравлических градиентов. Наиболее полно изучено влияние на значение K_ϕ градиентов J . С увеличением d камня K_ϕ растет наиболее интенсивно в интервале $0,5 < d < 2,5$ см, т.е. на участке интенсивного изменения m . Далее K_ϕ растет примерно пропорционально увеличению \sqrt{d} . Пороз-

ность материала p влияет прямо пропорционально на изменения K_{ϕ} . Этим в основном определяются более высокие значения K_{ϕ} рваного камня по сравнению с округлыми для одинаковых d . Форма материала существенно влияет на K_{ϕ} , поскольку определяет его p . Пользуясь результатами вышеприведенных исследований, можно рассчитать параметры равномерной фильтрации. По С.В. Избашу, коэффициент фильтрации K_{ϕ} , см/с, равен при $J = 0,1 \dots 1$, см/с.

$$K_{\phi} = p \left(20 - \frac{14}{d} \right) \sqrt{d}. \quad (6.29)$$

Значения K_{ϕ} по этой формуле хорошо совпадают с приводимыми М.Ф. Срибным значениями этой величины по натурным исследованиям. По П.И. Гордиенко, значение K_{ϕ} для остроугольных камней крупностью более 5 см и $J \geq 0,1$ можно определять формулой

$$K_{\phi} = 18p \sqrt{d}. \quad (6.30)$$

Значения K_{ϕ} и m в зависимости от d можно найти по графикам С.В. Избаша и П.И. Гордиенко соответственно для округлых и остроугольных материалов (рис. 6.12). Исследования фильтрации в наброске плотин и перемычек выполнены В.А. Яроцким [30] с проверкой отдельных параметров в различных режимах потока. Из зарубежных отметим работу Коэн де Лара, установившего параметры фильтрации воды в зависимости от Re и p при различных d . По его данным, при $Re \geq 1500$ сопротивление фильтрации в каменной наброске характеризуется законом, близким к квадратичному (при $d \geq 16$ мм). Значения m для этих условий равны 1,8...1,9. Отклонения от закона Дарси при больших v_{ϕ} объясняются турбулентными явлениями.

Для конкретных условий фильтрации в крупнопористых средах установлены различные зависимости, учитывая при этом параметры, входящие в уравнения фильтрации применительно к конкретным случаям или конкретным фильтрующим сооружениям, и различные степени равномерности движения и др. При фильтрующем водоприеме фильтрация в однородных пористых средах про-

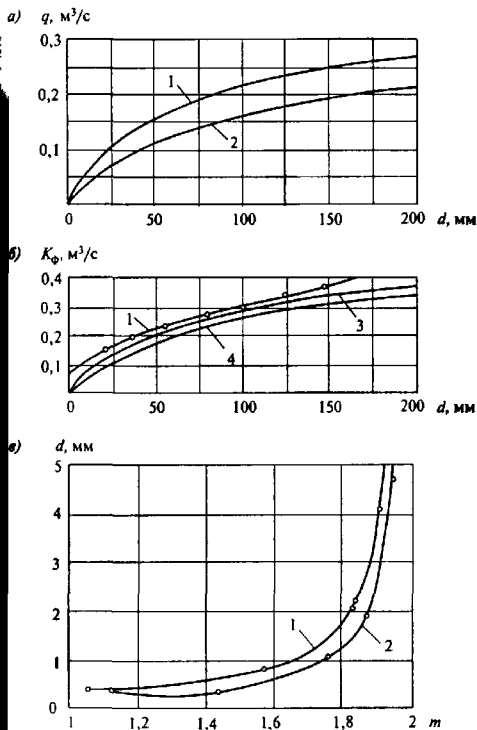


Рис. 6.12. Графики для расчета фильтров водоприемников:
 а) — пропускной способности фильтров различной крупности; б) — зависимости K_{ϕ} от d ; в) — зависимости m от d (по формуле 6.26);
 1 — для щебня; 2 — для гальки; 3 — для смеси

исходит в переходных режимах, не моделируемых по Фруду, и лишь при больших скоростях водоотбора сквозь фильтры $d \geq 80$ мм режим фильтрации – турбулентный. Ранее [1, 2, 17] исследована фильтрация в пористых средах $d = 2...300$ мм. В этих пределах исследовалось влияние крупности фильтрующих материалов и толщины фильтра водоприемников, направлений водоотбора на эффективность их работы.

В разные годы были выполнены исследования фильтров в различных конструкциях для выяснения возможности использования формул С.В. Избаша – для округлых и П.И. Гордиенко – для остроугольных материалов. На установке (рис. 6.13) определены значения пористости p материалов, рекомендуемых для фильтров водоприемников. Щебень $d = 25...30$ мм (при приведении к $d_{ш} \cong 21$ мм) имеет $p \cong 0,49$. Щебень $d = 50...70$ мм характеризуется величиной $p \cong 48,3\%$. Щебень $d = 100...125$ мм ($d_{ш} = 87$ мм) имеет $p = 48,9\%$. Кроме того, определяли пропускную способность фильтрующей площади $q_{\text{вз}}$. Значения $q_{\text{вз}}$, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2$, важны для оценки водоотбора и промывки. Фактически значения p близки к установленным Н.П. Пузыревским, М.Ф. Срибным и П.И. Гордиенко $p = 0,5$, что можно принимать для расчетов водоприемных фильтров. Для гальки и гравия $p = 0,4$. Нами уточнен режим фильтрации воды в фильтрах водоприемников по изменению Re . Среднюю v_{ϕ} в фильтрах вычисляют по значениям пропускаемых через него $Q_{\text{вз}}$. При заданных J для определенной крупности d и пористости p можно найти скорость при известной температуре воды.

Зависимость $v_{\phi} = f(J)$ (рис. 6.14 а) найдена по непосредственно определенной скорости фильтрации для натуральных d и h_{ϕ} . Наименьшие $Re = 47$ отмечены при $J = 0,12$ для щебня $d_{ш} = 21,3$ мм. В этом случае $m = 1,386$. $Re = 7900$ определено для $d_{ш} = 47,5$ мм, $m = 1,94$. График связи Re и гидравлических сопротивлений S (рис. 6.14 б) показывает, что последние не имеют линейного характера. Значения S найдены для определенных d , приведенных к шару. При $Re \geq 2000$ значения S изменяются более равномерно, характеризуя закон сопротивлений, близкий к квадратич-

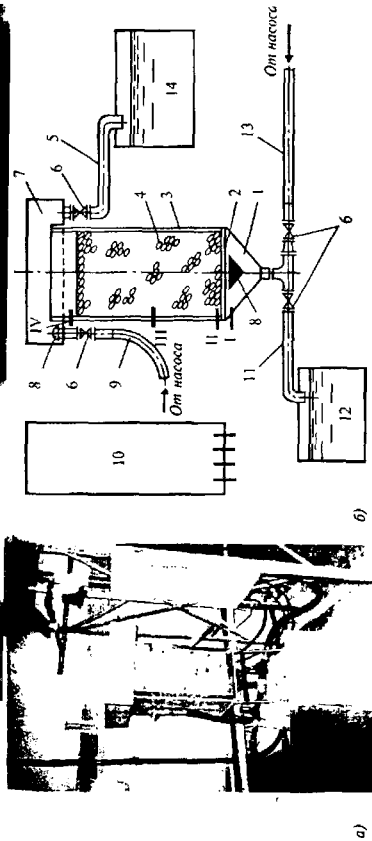


Рис. 6.13. Установка для гидравлических испытаний фильтров:

а) — общий вид; б) — схема; 1 — подфильтровая камера; 2 — сетка; 3 — стеклянные стенки; 4 — фильтрующий материал ($d = 10 \dots 20$ мм); 5 — отвод промывной воды; 6 — задвижки; 7 — сборный желоб; 8 — распределители воды; 9 — подача исходной воды; 10 — пьезометрический штит; 11 — отвод фильтрата; 12, 14 — емкости; 13 — подача воды на промывку

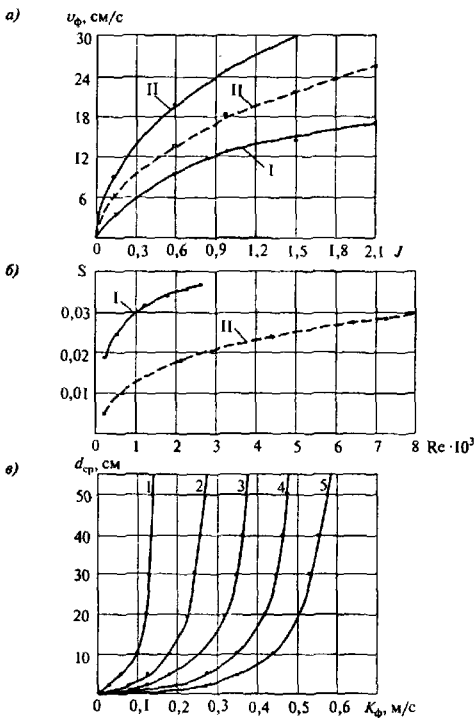


Рис. 6.14. Графики зависимостей $v_{\phi} = f(J)$ (а), $s = f(Re)$ (б) и K_{ϕ} от гранулометрического состава каменной наброски (в):

1 — $d_{\omega} = 21,3$ мм; II — $d_{\omega} = 47,5$ мм; III — $d_{\omega} = 87,2$ мм; I — $p = 0,35$ ($\eta = 17$); 2 — $p = 0,4$ ($\eta = 5$); 3 — $p = 0,45$ ($\eta = 2,5$); 4 — $p = 0,5$ ($\eta = 1,5$); 5 — $p = 0,55$ ($\eta = 1$)

ному [30]. В фильтрах водоприемников ламинарная фильтрация ($m = 1$), видимо, не имеет места или возможна при мелкозернистых фильтрах с $d = 1...2$ мм на инфильтрационных водозаборах, в системах ИППВ, в инфильтрационно-фильтрующих сооружениях и др. Минимальные значения $m = 1,386 \geq 1$. Нами не получено и значений $m = 2$; т.е. четко турбулентного режима не наблюдалось. В наших случаях режим близок к турбулентному, практически его можно принять таковым. Ламинарный режим, вероятно, имеет место при малых J и d . С.В. Избаш и П.И. Гордиенко считают критической крупностью соответственно для окатанных и остроугольных материалов 6 и 5 мм [40, 42] при $J \geq 0,1$. Иначе в фильтрах водоприемников имеют место переходный и турбулентный режимы и можно использовать анализируемые выше формулы П.И. Гордиенко и С.В. Избаша.

Достоинства фильтрующего водоприема в различных природно-климатических условиях издавна предопределили его широкое использование при водоснабжении разных объектов в широком диапазоне отбираемых расходов воды и ее качества [11...24]. В последние 12–15 лет в задачу технологий водоприема вошли: защита систем водоснабжения от водной растительности, рыбозащита, улучшение качества отбираемой воды, предочистка воды при ИППВ, обеспечение водоприема и водоочистки из источников с сезонным стоком и др. Необходимы дальнейшие исследования защитно-фильтрующих и водоочистных элементов водоприемников для уточнения характеристик материалов, используемых для их устройства (порозность p , удельную пропускную способность $q_{уд}$, л/с · м²); устойчивости материала фильтров к воздействию взвешивающего потока при наличии на поверхности фильтра сносящей v_a или без него; оценки влияния направления водоотбора на количество вовлекаемой взвеси в толщу фильтра и промывку; динамики засоряемости и промыва фильтров при разных направлениях водоотбора; выявления режимов работы фильтров; выбора типа, конструкции, материала фильтра и его крупности и др.



Рис. 6.15. Модель водоприемника с фильтрами из разных материалов (пенополистирол, щебень, керамзит)

К настоящему времени выполнены исследования достаточно большого количества водоприемников с фильтрами из разных материалов для широкого диапазона технологических задач. Авторами определены типы и конструкции водоприемников, которые смогут обеспечить надежный водоотбор при наличии водорослей, планктона, выполняя и весь тот необходимый комплекс задач, что решают водоприемники (рыбозащита, защита от шугольда, взвеси, плавающего мусора и др.). Особое внимание уделено водоприему с фильтром II типа (водоотбор снизу вверх) (рис. 6.15). Кроме того, исследован в натуральных условиях водоприемник комбинированного типа (рис. 6.16 а) для конкретного предприятия. Исследованы фильтрующие материалы (15...100 мм) при толщине от 0,2 до 0,8 м. Скорости водоотбора $v_{вх}$ на практике исследованы от 0,005 до 0,5 м/с; в таких же пределах менялись $v_{пр}$. Значения J менялись в пределах 0,1...2,1. Меньшие градиенты, не имеющие места в практике, не изучали; большие — редко имеют место и должны изучаться особо.

Изучение, систематизация и обобщение наиболее существенных процессов, характеризующих проявление

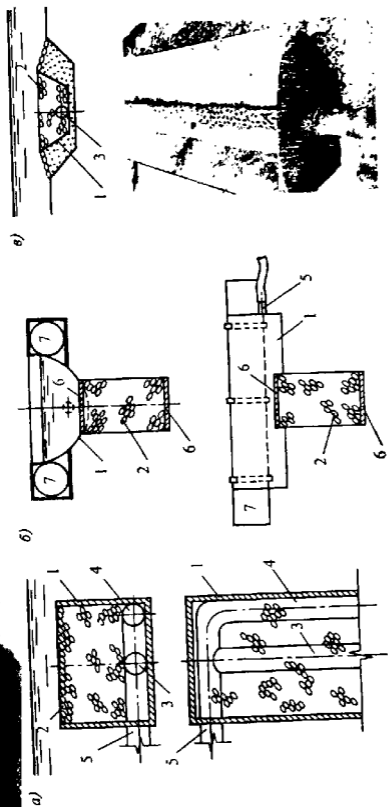


Рис. 6.16. Примеры фильтрующих водоприемников:

а) — из ручья Каменка (Ардымский спиртзавод); б) — модель плавучего водоприемника; в) — лоток с дренажной перфорацией; 1 — лоток; 2 — фильтр; 3 — дрена; 4 — промывной трубопровод; 5 — отвод воды; 6 — решетка; 7 — понтоны

ния засорений, водорослей, взвесей и прочего, диктующих выбор технологий водоприема и конструкций водоприемников, весьма важны для оценки их влияния на водозабор и водоочистку. Совершенствование существующих и разработка новых типов водоприемников для забора и очистки воды требует изучения таких факторов и процессов, как засоряемость фильтров из разных материалов, их промывка в условиях природы на крупномасштабных моделях или фрагментах сооружений.

Технологическое натурное моделирование особенно эффективно, когда математическое описание процесса затруднительно, при этом натурный эксперимент является единственным средством его изучения.

Внешнее взаимодействие водоприемников с источником моделируют с помощью критериев Фруда, но фильтрующий водоприем в части водоотбора, водоочистки и промыва фильтров точно по Фруду моделировать нельзя [4, 23, 39]. При промывке фильтров определяющей является не сила тяжести

$$F = \rho g l^3, \quad (6.31)$$

а сила выпора:

$$R = \rho g \Omega h_{\phi} J \quad (6.32)$$

где Ω – площадь фильтра; h_{ϕ} – толщина фильтра; R – сила выпора.

Из формул (6.19) и (6.20) $J = (v/K_{\phi})^m$ и критерий подобия Ньютона в общем случае запишется

$$K_{Ni} = \frac{F_s}{\rho v^2 h_{\phi}^2} = \text{idem}, \quad (6.33)$$

где F_s – сила, определяющая моделируемое явление.

Если основной является сила тяжести, то критерий Ньютона принимает вид, обратный критерию Фруда

$$K_{Fr} = \frac{\rho g h_{\phi}^3}{\rho v^2 h_{\phi}^2} = \frac{g h_{\phi}}{v^2} = \text{idem}. \quad (6.34)$$

Подставив в (6.33) значение определяющей силы (6.32), получим

$$K_{Эу} = \frac{\rho g h_{\Phi}^3 J}{\rho v^2 h_{\Phi}^2} = \frac{g h_{\Phi} \left(\frac{K}{v}\right)^m}{v^2} = \text{idem.} \quad (6.35)$$

Правило пересчета при моделировании по Фрудру на натуре получится при делении соответствующих частей выражений (6.34) и (6.35), дающих инварианту моделирования

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_v^2} = 1. \quad (6.36)$$

Однако для равенства параметров K_{Φ} и m (6.35) в натуре и модели необходимо модель воспроизводить в масштабе природы. Крупность фильтра, значения K_{Φ} и определяемые ими значения J и m для модели и природы должны быть одинаковы. Перепишем (6.35) в виде

$$K_{Эу} = \frac{g h_{\Phi} J}{v^2} = \frac{g z}{v^2} = \text{idem}, \quad (6.37)$$

где

$$z = h_{\Phi} J = \Delta P = P_{\text{под фильт.}} - P_{\text{над фильт.}} \quad (6.38)$$

Выражение (6.37) оказывается известным критерием Эйлера. Выражая его инвариантой моделирования, получим

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_v^2} = 1, \text{ т.е. } \alpha_2 = \sqrt{\alpha_z} = \sqrt{\alpha_1}, \quad (6.39)$$

т.е., чтобы получить для обратной промывки фильтра условия, удовлетворяющие критерию (6.37), необходимо принять крупность фильтра и скорость фильтрации одинаковыми для природы и модели ($J_m = J_n$). Тогда, вписываясь во Фрудовы модели водоприемников, можно принять по Фрудру лишь толщину фильтра.

Таким образом, в лабораториях можно исследовать взаимодействие водозаборно-очистных сооружений с водосточниками, изучать линии токов и режим движения

засоренной воды в фильтрах, устанавливать гидравлическую структуру водоприема фильтрами и картину промыва фильтров разными способами при разных гидрологических условиях. Действительную картину засоряемости фильтров водоприемников, промывку их при забивке взвесями, динамику отбора содержащей взвеси воды достоверно можно установить лишь в условиях природы, на экспериментальных специально создаваемых натуральных фрагментах водоприемников.

Моделирование водоприемников с фильтрами в природе на укрупненных фрагментах сооружений можно осуществлять и по методике А.А. Сурина. При этом методе моделирования между характерными параметрами модели и природы имеют место следующие соотношения:

$$v_m = v_n; \quad Q_m = \frac{Q_n}{\lambda^2}; \quad t_m = \frac{t_n}{\lambda}; \quad Re_m = \frac{Re_n}{\lambda},$$

где v_m, v_n — скорость фильтрации в модели и в природе; Q_m, Q_n — расход воды в модели и в природе; t_m, t_n — время пребывания воды в модели и в природе; Re_m, Re_n — число Рейнольдса в модели и в природе; λ — линейный масштаб уменьшения модели.

Эти обстоятельства также свидетельствуют о целесообразности моделирования водозаборно-очистных фильтров в природе.

6.4. Выбор типа и конструкций защитно-фильтрующих элементов

Выбор типа и конструкций водоприемников с защитно-фильтрующими элементами должен базироваться на выработанных многолетней практикой и исследованиями правилах [1, 2, 7, 41, 45, 68]:

- минимально изменять естественно сложившийся режим источников, особенно рек;
- сооружения водоотбора следует приспособлять к основным характеристикам источника и условиям их проявления;

- учитывать существенные различия в работе водоприемных отверстий (в части вовлечения взвеси, водорослей, планктона, шуголедовых помех и пр.), неодинаково расположенных относительно направлений течения речного потока (лобовой, низовой, боковой, смешанный), в зависимости от распределения скоростей и концентрации взвеси по глубине, от условий подхода потока к водоприемным плоскостям (свободные, плавные, с отрывом, с вихреобразованием и др.), от режима втекания (водообмена, деления, смешанного), от водоотбора $Q_{отб}$, типа защитно-фильтрующих элементов и т.д.;
- учитывать условия вовлекаемости водорослей в фильтры из разных материалов (гравий, щебень, керамзит, пенополистирол) разной крупности при различном расположении водоприемных поверхностей в источнике.

Наиболее распространены на практике водоприемные отверстия, расположенные вертикально. Наклонные (уступ или откос) водоприемники относительно редки, в основном из-за неизученности их действия, отсутствия минимума исходных данных и рекомендаций к назначению их конструкций.

При наличии сносящих скоростей потока v_s обеспечивается самопромыв фильтрующих водоприемных плоскостей, что мало используется при обосновании типа и конструкций водозаборов. За рубежом водоприемные оголовки применяют весьма редко. Основной вид водоотбора — инфильтрационные, подрусловые разных модификаций, часто в комбинациях с системами ИППВ, ориентированные на перевод поверхностных вод в подрусловые (подземные). Такая ситуация является следствием сложившихся в развитых странах подходов: предпочтение капитальных затрат эксплуатационным, экономико-инвестиционная и хозяйственная стабильность, широкая конкурентность отбора проектных решений, стремление к современным технологиям, отсутствие жесткой директивности (СНиПы, НиТУ, ТУ и пр.). А.А. Сурин отмечал пагубность типизации водозаборных сооружений, необхо-

димось индивидуализации типа водоприемника, оценки условий его работы.

Главные предпосылки к выбору типа водоприемника: снижение вовлекаемости взвеси, наносов, шуголедовых частиц и прочего к водоприемной плоскости (в % от общего содержания взвеси в источнике¹); эффект задержания взвеси (в целом) непосредственно при водоприеме — на поверхности фильтрующе-защитных элементов водоприемников или в их толще. Степень вовлекаемости взвеси (эффективность защиты водоприемника от взвеси, \mathcal{E} , %) определяют функционально соотношением $v_a/v_{вх}$ ($\mathcal{E} = f(v_a/v_{вх})$). Рис. 6.17 а иллюстрирует эффективность взвесезадержания водоприемников с фильтрами I типа (горизонтальные с водоотбором сверху вниз) в зависимости от значений соотношения $v_a/v_{вх}$. Это соотношение в опытах менялось от 2 до 55. Значения продольных скоростей v_a речного потока изменялись от 0,5 до 2 м/с.

Из сопоставления градиентов эффективности взвесезадержания перед фильтрами водоприемников I и II типов (рис. 6.17 б) видно, что фильтры II типа, по крайней мере, в 2,6...3 раза эффективнее, чем фильтры I типа. При значениях $v_{вх} \leq 0,02$ м/с и соотношении $v_a/v_{вх} \geq 20$ практически обеспечивается близкое к 100 % взвесезадержание на фильтрах II типа (в фильтрах I типа значения $v_a/v_{вх}$ требуются уже более 50; при $v_a \approx 0,5...0,75$ м/с ≥ 25). Степень вовлекаемости взвеси в водоприемник меньше зависит от крупности материалов фильтра, вида применяемых фильтрующих материалов (гравий, галька, щебень, керамзит и др.), чем от значений соотношения $v_a/v_{вх}$.

Влияние шероховатости поверхности зерен сыпучего материала фильтров на гидравлическое сопротивление слоя обсыпки изучено для щебня и гальки. Опыты с тщательно отсортированным гранитным щебнем (производ-

¹ Предполагается, что водоросли (планктон, фитовзвесь) распределяются в толще водоисточника по единой, для общего содержания взвеси, закономерности, ранее отмеченной в работах А.С. Образовского и Е.М. Лауренса.

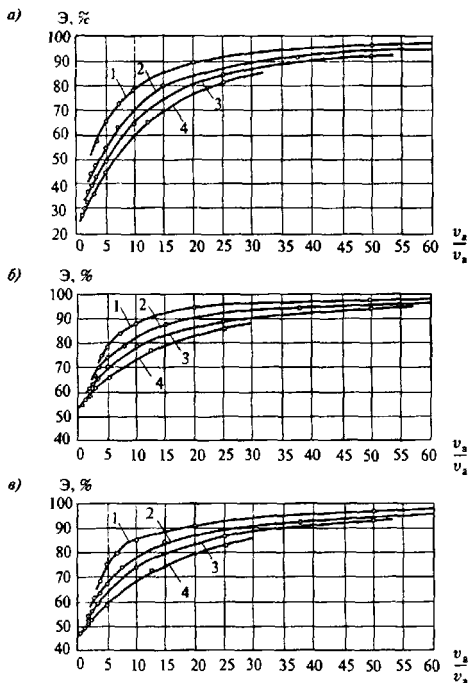


Рис. 6.17. Эффективность взвешезадержания фильтрами водоприемников ($h_{\Phi} = 700$ мм; $d = 10 \dots 20$ мм):

а) — I типа с водоотбором сверху вниз; б) — II типа с водоотбором снизу вверх; в) — III типа с боковым водоотбором; 1 — $v_a = 1$ м/с; 2 — $v_a = 0,75$ м/с; 3 — $v_a = 0,5$ м/с; 4 — $v_a = 0,25$ м/с

ство и поставка ЗАО «Гора хрустальная»¹ выполнены для зерен средним объемом $\approx 1,46 \text{ см}^3$ соответственно $d_{\text{ср}} = 1,4 \dots 1,5 \text{ см}$ на приборе Дарси. Определяли скорости фильтрации v_{ϕ} , соответствующие им градиенты J для двух случаев: щебень в обычном виде и тот же щебень, но с покрытием его зерен тонким слоем технического воска (парафина).

По опытным данным подсчитывали безразмерные величины:

$$\lambda = \frac{gJR}{v_{\phi}^2}; \quad (6.40)$$

$$\text{Re} = \frac{v_{\phi}R}{\nu}, \quad (6.41)$$

где v_{ϕ} — скорость фильтрации; ν — кинематический коэффициент вязкости воды (при $t = 17^\circ\text{C}$); R — гидравлический радиус, равный отношению объема пор к их поверхности, определяемый по формуле:

$$R = \frac{pd}{6\alpha(1-\varepsilon)}, \quad (6.42)$$

где p — пористость (в долях единицы); α — модуль формы.

Модуль формы для щебня с шероховатыми зернами и щебня, покрытого парафином, имеет одинаковые значения, поэтому λ для шероховатых и λ для гладких зерен одинаков. Если подсчитанные по (6.40) и (6.41) значения λ и Re нанести на графики $\lg \lambda - \lg \text{Re}$, то появится возможность сопоставить значения для материала разных типов с различными шероховатостями их граней. В пределах переходного режима фильтрации ($50 < \text{Re} < 800$) коэффициент сопротивления для рваного камня при равных значениях Re оказывается в 1,15–1,2 раза выше, чем коэффициент сопротивления щебня с гладкими зернами². Видно, что даже при сильно различающихся шерохова-

¹ По заказу обеспечивается поставка материала любых фракций.

² Подтверждается данными опытов С.В.Избаша и П.И.Гордиенко

тостях частиц их гидравлические сопротивления отличаются на 10...20 %. Значит, потери напора при фильтрации жидкостей в турбулентном и переходном режимах определяются деформацией струй, а не шероховатостью частиц¹. Технологически (удержание взвесей и засорений, влияние на глубины их проникновения, задержание взвеси преимущественно сверху и пр.) щебень с неровными поверхностями более предпочтителен [1, 2].

Результаты исследований разных фильтрующих материалов располагаются по степени предпочтительности: щебень; гравий (галька); керамзит (гравий). Плавающие загрузки из-за сложности их фиксирования в заданных габаритах применительно к фильтрующему водоприему требуют дополнительных исследований. В водоприемниках с фильтрами I, III, V типов плавающие загрузки зафиксировать крайне сложно, особенно в площадных сооружениях, хотя имеется разработанная М.Г. Журбой теория применения ФПЗ в широком диапазоне технологий [8, 11, 12, 19, 24]. Легкие фильтрующие загрузки водоприемников целесообразны в сооружениях II и IV типов при отборе воды снизу вверх.

Графики на рис. 6.17 а, б, в показывают значительную разницу в эффективности удержания вовлекаемой взвеси в толщу фильтров. Видно, что наиболее результативны фильтры II типа. При любых $v_{вх}$ (0,02...0,25 м/с) обеспечивается 75 % недопущения взвеси (волорослей). При $v_a/v_{вх}$ более 10 удерживается на входе свыше 90 % взвеси. При $v_{вх} = 0,02...0,05$ м/с и соотношении $v_a/v_{вх} \geq 20$ фильтры II типа предотвращают поступление взвеси полностью. Эффективность работы фильтров по типам II и I (рис. 6.17) близка к режимам действия и эффективности работы тонкослойных отстойников [98].

Эти фильтрующие водоприемники (рис. 6.17) при определенных значениях $v_{вх}$ и соотношений $v_a/v_{вх}$ потенциально могут превращаться в инфильтрационно-фильтрующие или комбинированные водозаборы. Окончательный выбор типа, конструкции, режима эксплуатации водоприемников зависит от значения $Q_{отб}$ и возможности

¹ Согласно методике Н.У. Койды, см. [66].

(экономичности, рациональности, технологической целесообразности) регенерации фильтрующих элементов.

При снижении $v_{\text{вх}} \leq 0,02$ м/с независимо от значений $v_a/v_{\text{вх}}$ обеспечивается качество воды, требующее лишь обеззараживания и специальной очистки от антропогенных загрязнений, поскольку основная масса загрязнений (взвеси, водорослей, планктона, наносов, большей части иных загрязнений) задерживается фильтрами инфильтрационных водозаборов [14, 25...29, 38, 43, 66...68]. Исследования и практика доказали жизнеспособность фильтрующих водоприемников в разных природно-гидрологических условиях при водоснабжении ответственных объектов; при шуголедовых помехах и обильной взвеси и растительности (до 12...15 млн. кл/л) успешно работает с 1984 г. водоприемник с фильтром II типа из пенополистирола в виде консольного водозабора (рис. 6.18).

Известно [1, 2, 7, 15], что даже при значительных количествах взвеси, водорослей и наносов можно восстановить проектную пропускную способность водоприемного фильтрующего фронта, если довести перепад давления на оголовке до 1,5...2 м. Т.е. фильтрующие водозаборы будут работать по схеме лучевых, в которых K_{ϕ} загрузки фильтра, закольматированного (забитого) песком, отложениями, водорослями [2, 14, ...16, 38], равен $\approx 0,02$ м/с. Выполненные уточненные исследования в лабораториях и в натуре также показали эти значения $K_{\phi} \leq 0,03$ м/с. Причем не имеет значения соотношение размеров скелета (камня) и возможных заполнений инфильтрационных ходов между камнями скелета [20].

Размеры фильтрующего водоприемника рекомендуется назначать, учитывая два условия: принимать фильтрацию через чистую каменную загрузку фильтров при $K_{\phi} \approx 0,2$ м/с и перепаде давления 0,05...0,1 м [75]) или рассчитывать фильтрацию при засоренной каменной наброске при $K_{\phi} \leq 0,02$ м/с и перепаде давления 1,5...2 м. Второе условие требует заглубления водоприемной плоскости и берегового приемного колодца, чтобы обеспечить водоприем при указанном перепаде, учитываемом при компоновке насосных станций I подъема. При таком подходе к проектированию водоприема с фильтрами нет оснований ожидать снижения их расчетной

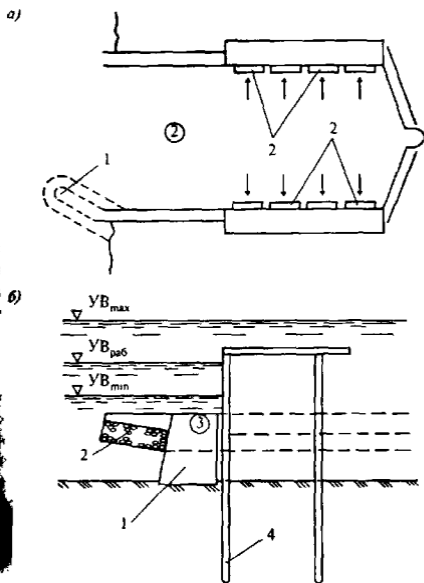


Рис. 6.18. Консольный водозабор (Ростов-на Дону):

а) – ковш; б) – разрез водоприемника; 1 – фильтрующий оголовок; 2 – фильтрующий контейнер; 3 – вихревая камера; 4 – свайная стенка

производительности. Целесообразнее осуществлять водоприем через ограждения акваторий фильтрующими дамбами, ковшами и др. Такие фильтрующие водозаборы успешно работают с $Q_{отб} \leq 100 \text{ м}^3/\text{с}$ [1...7, 15, 16, 22, 23, 65, 69, 75].

Окончательно тип и конструкцию водозаборно-очистных сооружений следует определять на основе оценки всего

комплекса условий их работы, а также технико-экономических сопоставлений возможных вариантов. Оценивать необходимо не только водоприемники, но и водозаборные узлы в целом с сооружениями руслорегулирования, управления температурным и гидравлическим режимами источников. Выбор мест расположения водозаборов должен базироваться на полном анализе имеющейся гидрологической информации, долговременных наблюдениях, результатах инженерных и гидрологических изысканий. Отмечается [1, 7, 74], что выбор места водоприема, а также тип и конструкция водозаборно-очистного сооружения обуславливают надежность и экономичность водообеспечения. Место водоприема определяет стоимость сооружений, мероприятия санитарии и природоохраны. Заносы песком, илом, помехи шутольда, водорослей в бассейнах рек Ока, Волга, Кама и других полностью определены выбором положения водоприемника в створах и в русле [1, 41, 65]. Известны случаи катастрофических ситуаций разрушения водозаборов [2, 14, 36].

Выбор мест расположения, типа, конструкции, режима эксплуатации водоприемника следует определять в каждом конкретном случае на основе системного с учетом редко повторяющихся факторов и характеристик источника анализа всей совокупности сведений об условиях работы водозабора. Для особенно сложных условий источников и ответственных объектов по категорийности надежности водозабора выбор створа водоотбора следует подкреплять натурными и модельными исследованиями.

6.5. Защитно-барьерная и водоочистная эффективность фильтрующих водозаборов

6.5.1. Защитно-барьерные функции водозаборно-очистных устройств

Стремление к повышению экологически чистого защитно-барьерного и водоочистного действия водозаборов из поверхностных источников, воды которых содержат минеральные и органические загрязнения, обуславливает

необходимость усовершенствования водозаборно-очистных сооружений, располагаемых непосредственно в русле водотоков и водоемов и позволяющих осуществлять одновременно водоотбор, предварительную очистку воды, исключать необходимость транспортирования удаляемых из воды планктона, взвеси (осадков) за пределы водоисточника. В большинстве случаев для удаления из воды взвесей с размером частиц более 0,001 мм в практике водоочистки применяют обычно безреагентное осветление воды в водозаборных ковшах и отстойниках (эффект осветления достигает 60...70 %), микропроцеживание (микрофилтрация) на микрофилтрах (40...60 %), префилтрацию через крупнозернистую загрузку из щебня, гравия, песка и других зернистых фильтрующих материалов (60...80 %).

При существующих разграничениях функций водозаборов и водоочистных сооружений частицы песка, ила, глины, планктона (водорослей) с размерами 0,001...1 мм, проходя через водоприемники с открытым водозабором и водоочистные сетки (ячейка 1×1 или 2×2 мм) водоприемных береговых колодцев, пойдут на водоочистные станции. Часть взвеси выпадает в осадок в береговых колодцах, требуя периодической чистки колодцев и самотечных линий. Основная же часть взвеси, включая водоросли, задерживается на водоочистных сооружениях. Затраты на удаление осадка и промывку сооружений водоочистки прямо пропорциональны объему взвеси обрабатываемой воды. М.Г. Журба установил [13], что объем осадка $W_{ос}$ и объем промывной воды $P_{пр}$, расходуемой на удаление осадка из сооружений на станциях разной производительности, могут быть значительно уменьшены, так же как и эксплуатационные затраты, при предварительном удалении взвесей (планктона) из исходной воды непосредственно в источнике.

Взвешенные вещества и планктон в источниках водоснабжения в большинстве случаев не являются экологическими загрязнителями и участвуют в биологических процессах (биоценозах) источников. Извлечение взвеси и водорослей из воды на очистных сооружениях реагентны-

ми методами образует экологически вредный осадок, а при хлорировании воды — хлорорганические соединения, токсичные для людей и экосистем водоисточников [9, 20, 23]. Для среднего города на 200 тыс. жителей (водоочистная станция на 100 тыс. м³/сут) образуется около 13 т/сут осадка, а за год — 4745 т. Этот осадок требует обработки, утилизации, захоронения. И хотя имеются методы обработки осадков природных вод (уплотнение, обезвоживание в естественных и искусственных условиях, замораживание-оттаивание и др.), тем не менее проблема чаще всего не решается. Большинство водоочистных станций осадок сбрасывает в водоисточники, резко увеличивая их загрязненность.

Параллельно с вопросами задержания на водозаборах взвеси, планктона, водорослей существует проблема рыбозащиты, которая не решается открытым водоприемом. Малоэффективны также решетки, плоские и вращающиеся сетки береговых и русловых водозаборов. В зарубежной практике в схему узлов водозаборов достаточно широко включают инфильтрационные водоприемники, земляные бассейны-отстойники, наливные водохранилища в поймах, эффективно осветляющие воду в периоды повышенной мутности рек [9].

Достаточную степень очистки воды от взвесей обеспечивают фильтрующие водоприемники с разного рода защитно-пористыми (фильтрующими) элементами. Лишь в последние 12–15 лет улучшение качества воды на водозаборах перестало рассматриваться как сопутствующая задача. Фильтрующий водоприем, реализуемый в весьма обширном диапазоне конструкций, может выполнять функции технологического элемента первой ступени (при расположении водоприемника в источнике) и даже второй ступени очистки (после отстаивания в водохранилищах), упрощая схему водоочистных станций. До 80-х годов к фильтрующему водоприему как к сооружениям, способным обеспечить защитно-барьерное и водоочистное действие, не было доверия. Во многом это объяснялось недооценкой фильтрующего водоприема, недостаточной изученностью процессов и роли фильтров водозаборов в тех-

нологии забора и обработки воды, инерционностью инженерных и нормативных принципов решения задачи на основании умозрительных заключений, недостатком натурно-экспериментальных работ и т.д. Считалось, что фильтр водоприемных оголовков должен задерживать лишь крупный мусор, шугу, обеспечивать рыбозащиту, а наносы, планктон (водоросли) должны уходить в береговые колодцы и далее — на водоочистные станции.

Систематические и многоаспектные исследования [11, 14...17, 29] последних 15–20 лет подтвердили ранее обоснованные многолетним опытом и практическими изысканиями выводы о целесообразности, перспективности и надежности фильтрующего водоприема как защитно-барьерного и водоочистного элемента систем водообеспечения, т.е. реальности создания водозаборно-очистных сооружений [13, 15]. Нормативные документы также признали правомерность этой тенденции. СНиП 2.04.02-84* [6, 21] допускает возможность отказа от водоочистных сеток в береговых водозаборных шахтах, эффективность которых крайне низка [1].

Из классификационной схемы (см. рис. 6.2) видно, что наибольшей защитно-барьерной и водоочистной эффективностью обладают водоприемники с развитой водоприемной поверхностью и достаточно мощной фильтрующей толщей, что обеспечивает малые значения входных скоростей в фильтр $v_{вх}$. Многими исследователями [1, 2, 7, 13...17] на практике установлено, что высокая защитная и очистная роль фильтров крупных водозаборов при водорослях обеспечивается при скорости фильтрации $v_{ф}$ ниже 0,05 м/с. При водоотборе из крупных водоемов фильтрующими дамбами (ковшами) А.А. Смириов и Г.М. Кузовлев рекомендуют, что проверено опытом эксплуатации, $v_{ф}$ не более 0,02 м/с [14, 22]. Для защиты от наносов при волнении, от водорослей, плавающего мусора, а также рыб и живности моря крупность тела дамбы (рис. 6.19) особого значения не имеет. Важнее обеспечить требуемые минимальные скорости фильтрации $v_{ф}$ через тело дамбы ($\leq 0,02$ м/с). При этом создается защита молоди рыб, исключается проникновение медуз, планктона и отмершей



Рис. 6.19. Волоприемник.

защищенный фильтрующей дамбой:

а) – план; б) – разрез фронтальной фильтрующей дамбы; 1 – водоприемный колодец; 2 – фильтрующая дамба; 3 – глухая дамба; 4 – водоводы; 5 – береговая линия; 6 – отмостка верхового откоса камнем; 7 – гребень дамбы; 8 – волноотбойная стенка; 9 – тело дамбы; 10 – тюфяк-постель из хворостяных фашин ($\delta = 0,3$ м)

водной растительности, шугольда, наносов. Фильтрующие водозаборы (дамбы, ковши) успешно эксплуатируются на Каховском, Днепровском, Саратовском и других водохранилищах, на Азовском, Черном, Каспийском и Охотском морях. Каменный материал для отсыпки тела дамб – несортированный, диаметром 0,15...1 м ($d_{cp} \geq 0,5$ м), без включения обломков древесины, песка, глинистых и пр. А.А. Смирнов и Г.М. Кузовлев установили, что при $v_{\phi} \leq 0,02$ м/с проникание полувзвешенных, взвешенных частиц и влекомых наносов, планктона в тело дамб и ее последующая кольматация отсутствуют [34]. При воздействии волн происходит декольматация фильтра дамбы с активным выносом взвеси на верховой откос.

Безусловно, что конструкция фильтрующего водоприемника должна соответствовать условиям источника (учитывая чрезвычайные и редко повторяющиеся явления), технологическим (расходы, режимы водоотбора), экономическим возможностям потребителя и др. Фильтрующий водоприем в условиях Севера выполняет задачи защиты от шуголедовых помех, а также улучшает качество забираемой воды. В последние годы успешно развивается направление водозаборно-очистных сооружений с пла-

вающими фильтрующими слоями из гранул пенополистирола и волокнистых материалов [11, 12, 24]. Для водопотребителей с суточной потребностью до 10...120 тыс. м³/сут и ограниченными энергоресурсами целесообразны инфльтрационно-фильтрующие водоприемники Н.Г. Хазикова [14], Ю.В. Якунина [25], Ю.И. Вдовина [2] и др. Эти водоприемники можно выполнять в виде подрусовых или береговых модификаций (рис. 6.20).

Практика показывает, что забор больших расходов воды (≥ 3 м³/с) из разных водоемов, включая моря, даже с большим содержанием планктона, водорослей, наносов ($M \geq 4...5$ тыс. мг/л) возможно осуществлять фильтрующими береговыми водозаборами (рис. 6.21). Каждая из модификаций фильтрующих, инфльтрационно-фильтрующих или комбинированных водоприемников обладает различным защитно-барьерным и водоочистным действием, зависящим от многих обстоятельств и факторов. Приведенные выше примеры показывают большие возможности фильтрующего водоприема с позиций водоочистки и защиты от водорослей (планктона, наносов).

Опубликованные материалы по фильтрующему водоприему показали в сопоставлении с опытом эксплуатации водоприемников разных типов при наличии водорослей и планктона в источниках следующее:

- попадание планктона, водорослей, наносов, иных засорений в водозаборные трубопроводы предотвратить непосредственно в русле водотока;
- можно сократить расход электроэнергии на удаление осадков в 1,2–2 раза;
- можно сократить расходы промывной воды на сооружениях водообработки для удаления осадков;
- при хлорировании воды на очистной станции уменьшается опасность образования хлорорганических соединений;
- технологин фильтрующего водоприема более экологичны, так как водоросли (и другая взвесь) не допускаются на водоочистную станцию, не обрабатываются реагентами, не образуют массового осадка и не создают проблем его обработки, удаления, утилизации и др.;

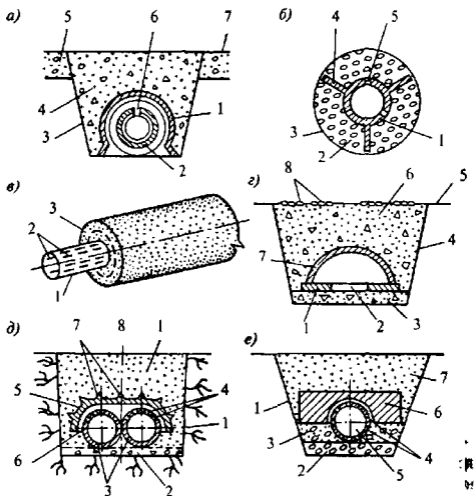


Рис 6.20. Инфильтрационно-фильтрующие подрусовые водоприемники:

a) – фильтрующая дрена (Норвегия, патент 793874): 1 – защитный кожух; 2 – дрена; 3 – траншея; 4 – засыпка; 5 – алюминий; 6 – водоприемная щель; 7 – уровень дна; *б)* – фильтрующая дрена (Австрия, патент 210168): 1 – водоприемный элемент; 2 – фильтрующая набивка; 3 – фиксирующая сетка; 4 – ребра; 5 – перфорация; *в)* – фильтрующий блок (ФРГ, патент 2606921): 1 – дрена; 2 – перфорация; 3 – фильтрующий мат; *г)* – дрена Ю.В.Якунина (р. Енисей). 1 – опорная плита; 2 – водоприемные окна; 3 – гравий; 4 – траншея; 5 – дно реки; 6 – фильтр; 7 – свод (короб); 8 – отмостка; *д)* – дрена Ю.И.Вдовина (а.с. 1209763): 1 – траншея; 2 – щебень; 3 – дрена из спаренной полимерной трубы; 4 – водоприемные отверстия; 5 – крышка; 6, 7 – ребра жесткости; 8 – засыпка; *е)* – дрена Н.Г.Хазикова: 1 – траншея; 2 – гравийно-галечная подготовка; 3 – щебень ($d = 20...25$ мм); 4 – перфорация; 5 – дрена; 6 – пористобетонный блок; 7 – фильтр

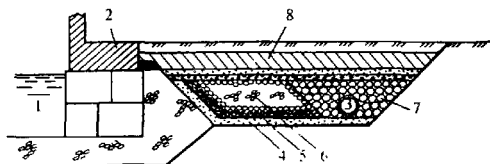


Рис. 6.21. Фильтрующий водозабор из крупных водоемов:

1 — водоем; 2 — набережная; 3 — водосборная труба; 4 — крупнозернистый песок; 5 — мелкий гравий; 6 — средний гравий; 7 — крупный гравий с обломками скалы; 8 — местный грунт

- возможно создание фильтрующих водоприемников, обеспечивающих водоотбор даже больших расходов $Q_{отб}$ при самых сложных гидрологических (гидробиологических) условиях с достаточно высокой степенью очистки от взвеси (практически 100 %) без промывки;
- степень надежности и эффективности извлечения взвеси и планктона при фильтрующем водоприеме оценивается в такой последовательности: инфильтрационные; инфильтрационно-фильтрующие; комбинированные; фильтрующие с фильтрами II типа; фильтрующие с фильтрами III типа; фильтрующие с фильтрами I типа;
- водоприемники с фильтрующими элементами могут стать основой создания водозаборно-очистных сооружений, призванных обеспечивать водоотбор из источников, защиту водоочистных станций от водорослей (планктона, взвеси, наносов и др.), решать задачи водоочистки, одновременно служить барьерно-защитным элементом от всевозможных помех водоотбору;
- водоприемники с фильтрами как средство защиты от взвеси (включая водоросли) необходимо оборудовать средствами промывки (регенерации) фильтрующих слоев.

В целом создание водозаборно-очистных сооружений на базе фильтрующего водоприема позволяет усилить

защитно-барьерную и водоочистную функцию водозаборов, удешевить подготовку питьевой и технической воды, сняв нагрузку на водоочистные станции.

6.5.2. Совместное удаление взвеси и водорослей при водоприеме

Анализ технологий и сооружений водоотбора из источников, содержащих минеральные и органические примеси, находящиеся в разных фазово-дисперсных состояниях, показал необходимость учета свойств последних и необходимость совершенствования сооружений для их удаления. Водные дисперсии, содержащие частицы размером $10^{-4} \dots 10^{-6}$ см (водоросли, планктон и др.), образуют гетерогенные системы, преимущественно суспензии, реже — эмульсии [18, 35, 49...54]. При наличии частиц размером $10^{-5} \dots 10^{-6}$ см возникают коллоидно-дисперсные, кинетически неустойчивые системы, в которых действуют в основном силы гравитационные и прилипания. Во взвешенном состоянии взвеси, включая планктон, в водных массах поддерживаются динамическими силами (течение, нагоны, ветровые волны, стратификационные и плотностные течения и др.). Отмечаются явления интенсивного слипания частиц водорослей с агрегацией их между собой (когезия) и с взвесями других фазовых состояний (адгезия). На поверхностях фильтрующих обсыпок образуются рыхлые хлопья, сплошные ковры, легко подвижные, структурированные, неустойчивые (рис. 6.22).

Размеры взвешенных веществ варьируются от мельчайших суспензий и коллоидных частиц до грубодисперсных примесей (табл. 6.3).

Выбор технологии водоприема и конструкции водоприемников, способных задержать (изъять) водоросли вместе с другими компонентами взвесей, следует обосновывать физико-химическими особенностями и технологической сущностью явлений и процессов, их формирующих, а также особенностями взаимодействия взвесей (водорослей) в отбираемой воде с фильтрами водоприемников. Важнейшей характеристикой взвесей (включая водоросли) является гидравлическая крупность водорослей u , приближенно равная $u \leq U/2$, т.е. $\leq 0,015$ м/с.

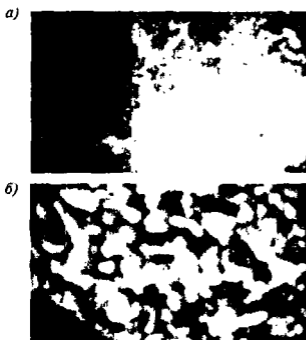


Рис. 6.22. «Ковер» из водорослей на поверхности водоисточника (а) и на фильтре (б)

Таблица 6.3.

Характеристики взвеси поверхностных источников
(по О.А. Алекину)

Взвешенные вещества	Размер, мм	Гидравлическая крупность, мм/с	Время осаждения частиц на глубину 1 м
Суспензия и коллоидные частицы	$2 \cdot 10^{-4} \dots 2 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	2...4 г
Тонкая глина	$1 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5} \dots 17 \cdot 10^{-5}$	0,5...2 мес
Глина	$27 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	30...50 ч
Ил	$5 \cdot 10^{-2} \dots 25 \cdot 10^{-3}$	1,5...0,5	15...30 мин
Песок: мелкий средний крупный	0,1 0,5 1 и более	5...7 30...50 100...120	2...5 мин 20...30 с 5...10 с

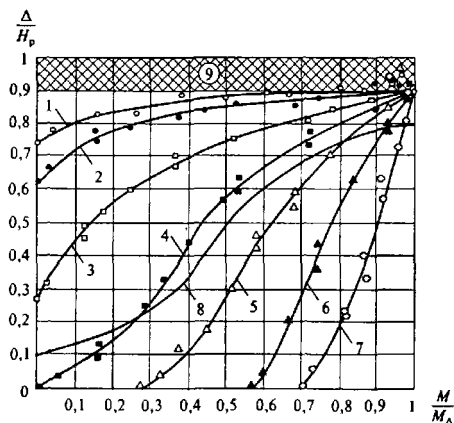


Рис. 6.23. Кривые распределения по глубине взвеси (фитопланктона) при $K = 0,15 \dots 1$; $H_p \leq 5$ м и гидравлической крупности ($-u/v_s$):

- 1 — при $u/v_s = -0,7$; 2 — при $u/v_s = -0,5$; 3 — при $u/v_s = -0,25$;
 4 — при $u/v_s = -0,1$; 5 — при $u/v_s = -0,05$; 6 — при $u/v_s = -0,01$;
 7 — при $u/v_s = -0,005$; 8 — по методике Е. Лаурсена; 9 — поверхностный слой нестационарных характеристик

В источниках взвеси, аналогичные водорослям (планктон, промышленные волокна и пр.), перемещаются транзитом и распределяются в водотоках и водоемах при скоростях турбулентного перемешивания $U \geq 0,03$ м/с всем объемом перемещаемых водных масс. В водоемах эти перемещения обусловлены нагонами, волнениями, стратификационными и донными течениями, плотностными перемещениями и др.

На основе методик А.С. Образовского и Е.М. Лаурсена [62] можно определить суммарные значения мутности в потоках, включая водоросли (планктон), и построить графики распределения их величин по глубине водотока при

коэффициенте распределения скоростей $K=0,15...1$. На рис. 6.23 по оси абсцисс приведены значения относительной объемной мутности M/M_{Δ} (M – суммарная мутность источника; M_{Δ} – мутность на определенном горизонте), по оси ординат – относительные удаления точек отбора от дна водотока $\beta = \Delta/H_p$ при разных соотношениях гидравлической крупности водорослей (планктона) к скорости потока $-u/v_a$.

В зависимости от гидравлической крупности частиц взвеси мутность воды, с учетом предположений А.С. Образовского [62, 84], распределяется по зависимости

$$\frac{M}{M_{\Delta}} = \left[\frac{\Gamma v_{\Delta}}{v_a \Gamma_{\Delta}} \right]^{4U_*^2 \left(1 - u^2/U_*^2 \right)^{u \cdot v_{\text{пов}}}}, \quad (6.43)$$

где M/M_{Δ} – относительная мутность; Γ – недостаток скорости на расстоянии от дна Δ ; $v_a, v_{\Delta}, v_{\text{пов}} \approx v_{\text{max}}$, U_* – соответственно скорости: средняя, местная, на поверхности, турбулентного перемешивания; u – гидравлическая крупность взвеси.

Концентрация водорослей напрямую определяется температурой воды и соответственно температурой воздуха. На рис. 6.24 показаны усредненные графики температуры воды и содержания водорослей (фитопланктона) в водохранилищах. Колебание численности водорослей (суммарно) от 4000...5000 кл/см³ до 10...20 тыс. кл/см³ с преобладанием сине-зеленых. Содержание фитопланктона существенно меняется как по годам, так и по месяцам и в течение суток.

Для фильтров водоприемников важна скорость входа воды $v_{\text{вх}}$, поскольку этим определяются надежность и бесперебойность водоприема, очистка воды в фильтрах при засорениях и шуге. При водоприеме более сложны условия взаимодействия фильтров с водоисточником при засорениях, наносах и шуге по сравнению с замывом каменной наброски песком или очисткой воды при инфильтрации. По гидравлическим характеристикам целесообразнее выполнить фильтры из щебня, так как пропускная способность их при прочих равных условиях выше, чем у гальки и гравия на 7...9% (при $d=25$ мм).

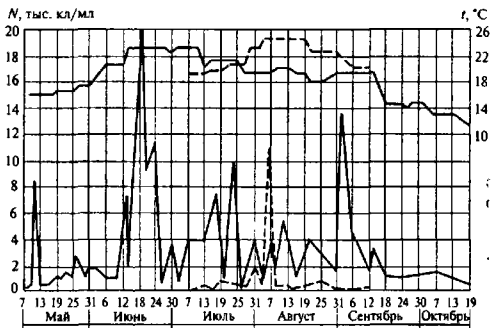


Рис. 6.24. Содержание фитопланктона в Сурском водохранилище при изменении температуры воды (— — в 1989 г.; - - - - в 1999 г.)

Щебень имеет более высокую по сравнению с гравием и галькой водоочистную и шугозащитную способность. Удельная пропускная способность фильтров различной крупности q , $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2$, определяется формулой

$$q = p K_{\Phi} \sqrt{J} \quad (6.44)$$

а для материалов $d \geq 100$ мм – формулой Н.П.Пузыревского

$$q = 0,35 \sqrt{J} \quad (6.45)$$

Для $J \leq 2$ пропускная способность фильтров не превышает определяемых формулой (6.44).

Потери напора Δz в однородном фильтре толщиной h_{Φ} при переходном и турбулентном режимах могут определяться формулой

$$\Delta z = \left(\frac{v}{K} \right)^2 h_{\Phi}, \quad (6.46)$$

которая преобразуется для простоты в формулу

$$\Delta z = Jh_{\phi}, \quad (6.47)$$

так как по (6.3) $v_{\phi} = K_{\phi} \sqrt{J}$. Наши исследования показали, что действительные потери Δz в незасоренных однородных материалах на 15...20 % меньше потерь, определяемых формулами (6.46) и (6.47), т.е.

$$\Delta z \approx 0,80Jh_{\phi}. \quad (6.48)$$

Засоряемость фильтров водозаборов изучалась нами более чем на 70 объектах Севера, на моделях в лабораториях ГНЦ НИИ ВОДГЕО, на экспериментальных установках Якутска, Красноярска, в натуральных условиях рек Лены, Колымы, Индигирки, Суры и водоемов. Было установлено, что эффективность снижения засорений фильтров зависит от принятой конструкции водоприемников, скоростей реки v_a , скоростей входа $v_{вх}$ и отношения $v_a/v_{вх}$ (для водотоков), фракционного состава, вида и степени однородности материала фильтра, характера и размеров засорений и др.

Крупность обсыпки фильтров должна учитывать и обеспечивать:

- минимум засорений и взвеси, проиикающих через фильтр;
- пропуск взвеси и наносов сквозь фильтр или их удержание при минимуме Δz (в зависимости от задачи фильтров);
- устойчивость при промывках водой импульсами давлений, воздухом с учетом обезвзвешивания и сноса потоком v_a ;
- полный смыв засорений с площади фильтров без образования «свишей» и застойных участков при промывках.

В водоочистных сооружениях [26] и дренажах [46] переходное число n смежных слоев фильтров не превышает 5...10, т.е. наносы $d_m = d_{\phi}/n$ проходят через фильтр. При неоднородности материала фильтров повышается его способность задерживать мелкие засорения и наносы, но растут их кольматаж. Степень удержания засорений зависит

и от окатанности материала. Исследования показали, что фильтры I типа не кольматируются наносами при $d_{\text{px}} \geq 15$ мм. Оптимальной для практики способностью удерживать засорения обладает сортированный щебень в смеси 15...25 мм с неоднородностью ≈ 2 . Надежно удерживает засорения щебень $d \leq 80$ мм.

Количество и виды задерживаемых фильтрами засорений (и водорослей) G , кг/м²·сут, в природных условиях рек Колыма, Индигирка, Сура, Сурского и Сатыканского водохранилищ и в различных водоемах характеризуются данными, приведенными на рис. 6.25. Значения G зависят в реках, кроме крупности фильтра и неоднородности его, в основном от v_a и $v_a/v_{\text{вх}}$. Незначительные G для мелких ($d \leq 15$ мм) фильтров объясняются невозможностью создать $v_{\text{вх}} \geq 0,20$ м/с и большой равномерностью отбора.

В фильтрах разных типов потерь напора Δz приходится до 80 % на их рабочую часть, т.е. на непосредственно принимающий воду верхний слой. В фильтрах II типа давление распределяется более равномерно. Засоряющийся при водоотборе слой не превышает 12...15 см при $d \leq 80$ мм. Значения Δz в фильтрах $d = 5...150$ мм и $h_{\phi} = 0,5$ м составляют 0,27...0,12 м ($v_{\text{вх}} = 0,03...0,3$ м/с).

Важнейшим фактором, определяющим количество вовлекаемой взвеси в фильтр, кроме крупности, является соотношение $v_a/v_{\text{вх}}$ (рис. 6.25 *в*). Известно [41], что значения v_a существенно влияют на выбор значений $v_{\text{вх}}$. С увеличением v_a уменьшаются засоряемость фильтров и помехи водоотбору. Увеличение соотношения $v_a/v_{\text{вх}}$ при $v_a \geq 0,3$ м/с позволяет увеличивать $v_{\text{вх}}$. При $d \geq 80$ мм возрастает вовлекаемость в фильтр и проходящих через него наносов и засорений. Щебень при прочих равных условиях вовлекает наносов, водорослей и взвеси на 15...17 % меньше, чем галька и гравий. Крупные засорения (хвоя, листья и пр.), лучше задерживаемые фильтрами из щебня, создают своего рода отмокку — «ковер» для мелкой взвеси, сносимой потоком. Сквозь фильтр проходят наносы, гидравлическая крупность которых значительно меньше значений $v_{\text{вх}}$.

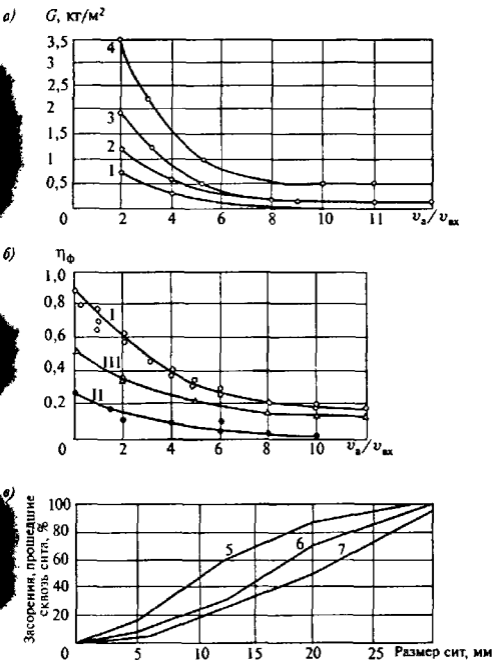


Рис. 6.25. Сорозащитная способность фильтров водоприемников:

а) — количество задержанных фильтром засорений, кг/м^2 сут:
 1, 2 и 3 — щебень $d = 25$ мм, $d = 25..50$ мм, $d = 50$ мм; 4 — галька $d = 50$ мм; б) — вовлекаемость взвеси в фильтры I, II и III типа ($d \leq 50$ мм); в) — состав засорений: 5 — р. Сура; 6 — Ардымский пруд; 7 — Сурское водохранилище

Кольматацию каменной наброски и фильтрующих сооружений исследовали с различных позиций прикладного и научного характера. Для водоприема важны закономерности засоряемости фильтров водозаборов такого рода крупным мусором (листва, хвоя, ветки и т.п.) и кольматации мелкой взвесью (наносами). Выбор типа и конструкции водозаборно-очистных сооружений, размещения водоприемного фронта в источнике, режим эксплуатации следует решать, исходя из технологических функций, т.е. задержки фильтрами всех видов взвеси из забираемой воды (максимальное улучшение качества воды) или только их части (наиболее крупной взвеси), вынужденно пропускаемая мелкую (и наносы) в самотечные трубы. Натурно-экспериментальными и производственными исследованиями установлено, что в среднем количество взвесей η_{\max} , задерживаемое фильтром от полного их содержания в источнике η_p при $v_{\text{вх}} \leq 0,1$ м/с, составляет (для рек Колыма, Индигирка, Сура):

для фильтров I типа

$$\eta_{\max} = \eta_p \left(\frac{v_{\text{вх}} + u_*}{v_*} \right) \varepsilon_I; \quad (6.49)$$

для фильтров II типа

$$\eta_{\max} = \eta_p \left(\frac{v_{\text{вх}} + u_*}{v_*} \right) \varepsilon_{II}; \quad (6.50)$$

для фильтров III типа

$$\eta_{\max} = \eta_p \left(\frac{v_{\text{вх}} + 0,5u_*}{v_*} \right) \varepsilon_{III}, \quad (6.51)$$

где u_* — усредненная гидравлическая крупность взвеси; ε — коэффициент вовлекаемости взвеси при различных направлениях входа $v_{\text{вх}}$ в фильтр, рекомендуемый нами для I типа фильтров $\varepsilon_I = 0,6$; для II типа $\varepsilon_{II} = 0,2$, для III типа $\varepsilon_{III} = 0,4$. Эти значения определены для соотношения порога водоприемных отверстий z_p над дном к их ширине b $z_p/b \leq 0,3$ при длине водоприемника $l_{\text{пр}}$ в 2 раза больше b . Эти выводы согласуются с данными С.Д. Яковлева [44] и А.С. Образовского [1] о вовлечении шуги и взвеси при различном направлении $v_{\text{вх}}$ в водоприемник.

В составе засорений, задержанных фильтрами (см. рис. 6.25 в) летом в естественных условиях, преобладают наносы $d = 0,1 \dots 1$ мм (40...50 %). Максимальное количество засорений, задержанных фильтрами в августе 1999 г. (в нижнем бьефе гидроузла $v_a = 0,5$ м/с) составило $2,5$ кг/м² · сут в р. Суре и $3,1$ кг/м² · сут — в затоне. Задержанные водоросли и взвесь из фильтра вымывали чистой водой над специальной емкостью, взвешивали через 3 ч после отстаивания и отфильтровывания. С увеличением крупности более 40...50 мм возрастает количество крупноразмерных засорений (ветки, листья, растительность). Задерживаемые засорения относительно равномерно распределяются по площади фильтров I и II типов. Пульсации скоростей v_a и $v_{вх}$ над фильтром перемещают задержанные засорения, как бы перекатывая, по фильтру I типа; затем они сбрасываются в поток и сносятся течением в фильтрах II типа. Отчетливо наблюдается в водотоках самопромыв поверхностей.

Гидродинамическое воздействие потока на фильтры, задержание взвеси определяются соотношением $v_a/v_{вх}$. Удержание (присасывание) крупной взвеси к поверхности фильтров речных водоприемников отмечается при $v_{вх} \geq 0,25$ м/с (хлопья водорослей, листья и др.). Скопления и отдельные крупные засорения (ветки и т.п.) с размерами больше пор фильтров задерживаются на поверхности. По ним отлагаются листья, корье, хвоя и прочее, обволакивая отдельные камни фильтров тем заметнее, чем больше $v_{вх}$ и d . «Гибкие» засорения удерживаются на поверхности, не мешая водоотбору при $d = 25 \dots 50$ мм. Щебень удерживает подобные засорения, лучше благодаря шероховатости; по ковру крупноразмерных засорений на поверхности фильтров мелкая взвесь и наносы течением v_a перекатываются, как по своеобразной отмостке. Фильтры II типа при хорошей обтекаемости соприкасаются с засорениями лишь при $v_a/v_{вх} \leq 2$, подсасывая минимум засорений [37, 40].

Защитная способность фильтров растет с уменьшением крупности обсыпки. При $d = 5 \dots 15$ мм удерживается максимум взвеси и наносов, так как из-за уменьшения $v_{вх}$ и $v_{ф}$ вынос наносов и мелкой взвеси в самотечные трубы

не происходит, что приводит к остаточной кольматации загрузки фильтров [1, 2]. В этом случае фильтры I типа с большой $\Omega_{\text{вх}}$ начинают работать по типу инфильтрационных. Во избежание этого необходимо обеспечивать малые $v_{\text{вх}}$ и соответствующую крупность d , чтобы задерживать крупные засорения на поверхности фильтра с пропуском через него наносов. Воду за фильтром следует отводить со скоростями, достаточными для выноса наносов. Значения v_p , по натурным данным, существенно отличаются. Формула (6.5) справедлива лишь для $d \geq 150$ мм, давая уменьшенные значения v_p для мелкозернистых фильтров. График $v_p = f(d)$ (рис. 6.26) показывает, что вынос наносов и засорений обеспечивается в фильтрах I типа, причем лучше при $v_p = 0,15 \dots 0,18$ м/с, что соответствует $v_{\text{вх}} \approx 0,05$ м/с. В фильтрах III типа необходимо во избежание кольматации создать скорость $v_p \leq 0,25$ м/с, т.е. $v_{\text{вх}} \approx 0,08$ м/с. При меньших v_p фильтр кольматируется. В фильтрах II типа $v_{\text{вх}}$ следует назначать по гидравлической крупности наносов из условия их невовлечения. Гидравлическая крупность взвеси u намного превышает значения $v_{\text{вх}}$, диктуемые требованиями рыбоохранны $\leq 0,25$ м/с.

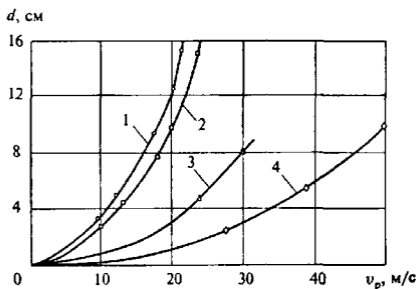


Рис. 6.26. Зависимость $v_p = f(d)$:

1 — в фильтрах I типа; 2 — по С.В. Избашу; 3 — в фильтрах III типа; 4 — в фильтрах II типа

Изменение скоростей взвеси в зоне питания водоприемника способствует ускорению движения ее в подфильтровой камере (тип I) или транспортирования потоком вдоль фильтра (тип II). Уменьшение взвеси в отбираемой воде по сравнению с содержанием в потоке объясняется изменением поля скоростей и их пульсаций в зоне водозабора. Взвесь и наносы, попав на поверхность фильтров или на отмокту из крупных засорений, если не сносятся течением, то сбрасываются к основанию сооружений промывкой.

С укрупнением размеров гранул фильтра $d \geq 80$ мм количество засорений, проходящих через него, заметно возрастает; увеличивается вероятность его кольматации. При этом закупориваются отдельные поры обволакиванием отдельных камней. На эти «пробки» отлагаются наносы, водоросли и т.п., сокращая поступление воды. При $d \geq 150$ мм снижается защищенность от засорений, так как возникают прочные, трудно промываемые отложения. Размеры задерживаемых фильтрами засорений определяются крупностью материала d , а также соотношением $v_a/v_{вх}$. Опытами и в натуре установлено, что максимальный размер засорений $r_{зас}$, задерживаемых поверхностью фильтров, не превышает:

в фильтрах I типа

$$r_{зас I} \approx 0,3d \quad (6.52)$$

в фильтрах II типа

$$r_{зас II} \approx 0,1d. \quad (6.53)$$

В фильтрах I типа возможно устройство верхнего мелкого слоя, что уменьшает размеры засорений и задерживает взвесь. Вовлечение хвоинок, веток и прочего начинается при больших $v_{вх}$ и малых $v_a/v_{вх}$. Засорения с $r_{зас}$ менее отмеченных задерживаются до глубины 10...12 см от поверхности. Наносы $d_n \leq 0,1d$ проходят сквозь фильтр в самотечную. Засорения размерами $0,1d \leq r_{зас} \leq 0,3d$ удерживаются в верхнем (рабочем) слое. Взвесь мельче 0,1 мм в фильтр вовлекается лишь при больших d и $v_{вх}$.

Крупность обсыпки фильтров по условиям сооружения, в предположении производства промывок, види-

мо, составляет 20...50 мм. Верхний предел крупности фильтров определяется гидрологическими условиями, технологией водоприема, принятой v_3 , характером взвеси, направлением $v_{вх}$ в фильтр. На основе натурных исследований можно рекомендовать d фильтров: I типа — $d_I = 25...60$ мм; II типа — $d_{II} = 60...80$ мм; III типа — $d_{III} = 80...100$ мм, что удовлетворяет требованиям рыбоохраны, не усложняя конструкций водоприемника. Желательна крупность фильтра I типа — 20...50 мм, II типа — 30...80 мм, III типа — 80...100 мм при однородном составе; $d \leq 15$ мм нецелесообразны из-за колыматажа; при их обратных промывках образуются «свищи», взвешивание и вынос мелких частиц в поток.

Толщина загрузки фильтров h_ϕ диктуется задачами: защиты водозабора от взвеси, засорений и шуги; рыбоохраны; равномерной промывки; минимума потерь напора Δz и др. Для равномерного промыва без «свищей» всей площади фильтра необходима толщина h_ϕ :

$$h_\phi \geq 8d \text{ (при } d \geq 15 \text{ мм);}$$

$$h_\phi \geq 6d \text{ (при } d \geq 60 \text{ мм).}$$

Глубина проникновения в фильтр засорений $h_{зас} \leq (2...2,5)d$ (при $d \leq 100$ мм). Толщина h_ϕ должна быть 0,25...0,3 м. Для большей механической надежности фильтров I типа $h_\phi = 0,4...0,5$ м. При наличии решеток, ряжей и т.п. h_ϕ достаточна 0,3...0,4 м. Толщина $h_\phi \geq 0,5$ м целесообразна, если решается УКВ.

Поскольку основная масса засорений удерживается на поверхности загрузки фильтров, то целесообразно устраивать ее в 2—3 слоя. Фильтры II типа целесообразны однослойные. Фильтры I типа позволяют значительно укрупнять нижние слои (150...200 мм), обеспечивая равномерность отбора воды и промыва, сокращение Δz , улучшение вымыва наносов. В многослойных фильтрах толщины слоев можно принимать равными. Однослойный фильтр h_ϕ до 0,5 м при оптимальной крупности его не уступает многослойному по защищенности от засорений и шуги. В фильтрах I типа по рабочему слою отмотка крупного материала нецелесообразна, так как крупные

камни интенсивно забиваются, особенно водорослями, а при обратных промывках проникают под защищаемый слой. Фильтры в три слоя целесообразны при $h_{\phi} \geq 0,7 \dots 0,8$ м для существенной первичной очистки отбираемой воды.

6.6. Восстановление проницаемости защитно-фильтрующих устройств водоприемников

Эффективность промывки фильтров зависит от их типа, размещения в источнике, условий взаимодействия промывных вод с источником, характера засорений, обтекаемости, значений отбираемых $Q_{\text{вх}}$, соотношений $v_{\text{д}}/v_{\text{вх}}$ (в реках), способов подвода и распределения $Q_{\text{пр}}$, площади водоприема Ω_{ϕ} и др. Оценку засоряемости и регенерации фильтров решают дифференцированно для принятых технологий водоприема:

- затопленные водоприемники (ряжи, колодцы, колонны, стенки и т.п. с крупнопористыми фильтрами I, II, III типов) со сравнительно небольшими (до $100 \dots 200 \text{ м}^2$) с устройствами промывки;
- водоприемники с фильтрующими элементами $\Omega_{\phi} \geq 300 \dots 500 \text{ м}^2$ и с устройствами (мероприятиями) регенерации фильтров (фильтрующие ковши и откосы, инфильтрационно-фильтрующие дренаи, галереи, дамбы, лотки, траншеи, рассечки и т.п.);
- инфильтрационно-фильтрующие и комбинированные водоприемники, работающие в режиме инфильтрации с периодической регенерацией фильтров (снятие закольматированного слоя, гидравлическое и механическое декольматирование, замена фильтра и др.);
- водоприемники, ориентированные на прием воды с учетом кольматации на весь срок эксплуатации с регенерацией их лишь при снижении v_{ϕ} и $Q_{\text{вх}}$ ниже расчетных (шахтные колодцы, горизонтальные скважины, горизонтальные галереи, дренаи и др.).

Наиболее обстоятельно исследована динамика засорений фильтров водоприемных оголовков разных типов во ВНИИ ВОДГЕО [1, 2, 22, 23], ВНИИГ [7], ХИСИ [20], ЛИСИ [5, 45] и др. Динамика засоряемости и промывки фильтрующих ламб изучена А.А. Смирновым, М.Д. Мелкумовым и другими с водоприемом из крупных водоемов [4...6]. Достаточно полно изучена кольматация и регенерация фильтров водозаборных скважин и дренажей [46, 47]. Засоряемость и регенерация фильтров водоприемников II и III типов изучены меньше, имеются лишь отдельные поисковые и эксплуатационно-экспериментальные работы. Более обстоятельно освещены вопросы кольматации фильтров водоочистки [11, 12, 24, 48] и водоприема [2, 14]. Отметим работу Е.П. Булатова по выявлению оптимальных значений v_{ϕ} в каптажных сооружениях [26], А.Ф. Порядина — по гидравлическому декольматированию отложений русла [65], Ю.В. Якунина [25] — по регулируемой инфильтрации и механической декольматации русловых отложений [38].

Установить фактическую площадь промыва поверхности фильтров, оптимальные скорости $v_{\text{пр}}$, условия устойчивости фильтров при промывке, распределение потерь напора Δz , эффективность разных способов промывки, предельные $Q_{\text{пр}}$ по условиям устойчивости фильтров и полноты вымыва засорений сложно и возможно только на действующих сооружениях. Необходимые для промывки расход $Q_{\text{пр}}$ и напор определяют типом и крупностью фильтра, степенью засоренности его, расположением в источнике, конструкциями фильтров, коммуникаций подвода и распределения воды и воздуха, а также в зависимости от способа промывки, соотношения $v_{\text{вх}}/v_{\text{вх}}$ и др. Фактическая площадь промыва фильтров и вымыв взвеси из них также зависят от вида наносов, характера водорослей, частоты и интенсивности их повторяемости, условий водоотбора, значении $Q_{\text{вх}}$, соотношения $Q_{\text{вх}}/Q_{\text{а}}$. По сравнению с промывкой обычных водоприемников из фильтров необходимо обеспечить вымыв засорений равномерно, без «свищей» по всей $\Omega_{\text{бр}}$.

Длительность промывки и эффективность удаления засорений существенно зависят от скорости водотока v_a . С увеличением v_a значительно снижаются требуемые $v_{пр}$. Сбрасываемые с поверхности и вымываемые из толщи фильтра засорения сносятся рекой тем интенсивнее, чем больше v_a . В водоемах требуется увеличение $v_{пр}$ и длительности промывки. Обратная промывка обеспечивает полное удаление взвеси и засорений при крупности фильтров: 25...60 мм для фильтров I типа, до 80 мм — II типа и более 100 мм — III типа.

При промывке мелкозернистого фильтра возможно образование «свищей». В фильтрах I типа $d \geq 15$ мм в первую очередь удаляют засорения, наносы и шугу, сносимые течением. В фильтрах II и III типов вымыву засорений препятствуют решетки, ряжи и др. Эффективность восстановления проницаемости фильтров повышается при водовоздушной промывке. В фильтрах I типа воздух, обладая подъемной силой, выносит засорения. Наилучшие результаты водовоздушной промывки достигаются применением вихревых камер, струераспределителей. Размер пузырей воздуха при движении в фильтре определяется формулой В.И. Классена [40]:

$$r_{\text{возд}} = 6 \sqrt{r^2 \sigma_{гж}}, \quad (6.54)$$

где r — размер пор среды, равный $0,2d$; $\sigma_{гж}$ — поверхностное натяжение на границе «газ — жидкость».

Эффективность промывки фильтров зависит от обтекаемости водоприемников водотоком, так как усиливается эжектирующее действие потока. Напор при промывке фильтрующих водоприемников определяется формулой

$$\Delta Z_{пр} = \xi_{\text{сисст}} v^2 / (2g) + \Delta Z, \quad (6.55)$$

где $\xi_{\text{сисст}}$ — суммарный коэффициент гидравлических сопротивлений в коммуникациях промывки, ΔZ — потеря напора в фильтрах.

Различные способы промывки (водой, воздухом, импульсами давлений и др.) целесообразно комбинировать для более гибкой эксплуатации водоприемников, повышения их надежности с восстановлением первоначальной проницаемости фильтров. Засорения фильтров водопри-

емников в зависимости от принятой технологии водоотбора и эффективности его промывки могут быть:

- фильтрационные — отложения взвеси, шуги, засорений и прочего в толще фильтра под действием турбулентного фильтрационного потока;
- наносные — отложения наносов, засорений в подводных фильтрующих элементах. Предел размыва засорений из пор фильтров (с выносом в поток при промывке) характеризуется скоростью v_p , при которой начинается размыв (вынос) засорений:

$$v_p = C_0 \sqrt{2gd} \cdot \sqrt{(\gamma - \gamma_1)/\gamma_1}, \quad (6.56)$$

где C_0 — коэффициент обтекания, зависящий от крупности взвеси, формы ее материала, характера обтеканий; γ и γ_1 — плотность воды и взвеси.

Устойчивость фильтра определяется расположением его в сооружении, материалом и его однородностью, толщиной и пр. Полное удаление засорений (шуги) с поверхности и из толщи фильтра возможно и при неподвижной загрузке, без ее взвешивания. Наибольшие $Q_{пр}$ для полного вымыва засорений нужны при крупной обсыпке фильтра III типа. Более низкие значения $Q_{пр}$ и $v_{пр}$ обеспечивают полный вымыв засорений из фильтров II типа.

Необходимая $v_{пр}$, м/с, составляет в порах фильтров:

$$\text{I типа} \quad v_{пр.ф.I} = \frac{Q_{пр}}{\Omega_{бр}} \geq 0,1; \quad (6.57)$$

$$\text{II типа} \quad v_{пр.ф.II} \geq 0,05; \quad (6.58)$$

$$\text{III типа} \quad v_{пр.ф.III} \geq 0,2. \quad (6.59)$$

Зависимости (6.57) и (6.59) установлены для натуральных условий. По сравнению с $v_{вх} \geq 0,05$ м/с (относительно $\Omega_{бр}$) необходимо создавать в фильтрах:

$$\text{I типа} \quad v_{пр} = (0,7 - 1) v_{вх}; \quad (6.60)$$

$$\text{II типа} \quad v_{пр} = (0,5 - 0,7) v_{вх}; \quad (6.61)$$

$$\text{III типа} \quad v_{пр} = (1,0 - 1,5) v_{вх}. \quad (6.62)$$

а)



б)



Рис. 6.27.

Промывка фильтров водоприемников обратным током воды:

а) — равномерная;

б) — неравномерная, с образованием «свищей»

Фильтры I типа $d \leq 10$ мм взвешиваются (при $v_{пр} \geq 0,15$ м/с для $d \leq 5...7$ мм; при $v_{пр} \geq 0,35$ м/с для $d \leq 10$ мм и т.д.). Фильтры I типа $d \geq 15$ мм взвешиваются $v_{пр} \geq 4,30$ м/с. По условиям обратной промывки крупность фильтра d можно рекомендовать следующую: I тип — 25...60 мм; II тип — 80...100 мм; III тип — 100...150 мм.

В фильтрах I типа с обсыпкой из гранул $d \leq 15$ мм засорения из них вымываются при значительных $v_{пр}$. Фильтры с обсыпкой гранулами диаметром $d = 20...60$ мм полностью промываются без взвешивания и расширения их от засорений и наносов за 5...10 с (рис 6.27). При $d \geq 100$ мм необходимо увеличение времени промывки и $Q_{пр}$. Вымыв засорений из толщи фильтра труднее, чем удаление их основной массы с поверхности.

Потери напора при промывке распределяются неравномерно. На рабочий слой (10...15 см) приходится до 60 % ΔZ . С увеличением d большая часть ΔZ приходится на глубинные слои. В фильтрах III типа вымыв засоре-

ний ухудшают решетки и сам крупнопористый материал; засорения прижимаются к обратным граням камней, застревая между ними. Эффективность промывки повышается с изменением интенсивности $q_{пр}$. Избежать «свищей» можно правильным выбором устройств подвода и распределения промывной воды. «Свищей» при промывке не бывает при $h_{ф} \geq 8d$ (для $d = 20...100$ мм). При $d = 50...60$ мм и $h_{ф} \geq 0,25$ м равномерно промывается большая часть площади. Наиболее целесообразны вихревые аванкамеры: трубные [62], телескопические [26] и др. Следует отметить, что телескопические камеры позволяют уменьшить заглубление водоприемников. Сам по себе фильтр I типа $d = 25...60$ мм при $h_{ф} \geq 0,25$ м распределяет промывной поток равномерно при наличии нижнего, более крупного слоя. В натурно-экспериментальных и производственных условиях эффективна предложенная А.С. Образовским импульсная промывка [1].

Импульсы давлений в самотечных трубах создаются быстрозакрывающимися клапанами, падающими щитами и прочими, вызывающими гидравлический удар. Эффективность импульсной промывки зависит от характера засорений, крупности d и типа фильтра, значения v_a . Воздействие импульсов на задержанные засорения и шугу наиболее эффективно в фильтрах II типа. Регулятивно удаляются засорения и взвесь импульсами с фильтров I типа. В фильтрах III типа импульсная промывка менее эффективна. Во всех случаях эффективна импульсная промывка при удалении крупных засорений с поверхности фильтров при наличии v_a .

В производственных условиях наиболее высока эффективность регенерации фильтров воздухом в смеси с водой, особенно в фильтрах I типа с $d = 60...80$ мм. При $d \geq 80$ мм выноса засорений воздух не обеспечивает, выходя сосредоточенными струями. В фильтрах I типа выносящая (вымывающая) способность воздуха в виде пузырей и струй при вымыве засорений (см. рис. 6.14) максимальна. Излишек воздуха не улучшает вымыва засорений. Максимальный расход воздуха $Q_{возд\ max}$, обеспечивающий истечение его сквозь фильтр в виде мелких пузырьков

$$Q_{возд\ max} = 26r^2 \text{ см}^3/\text{мин.} \quad (6.63)$$

Для фильтров I типа $d = 25...50$ мм значения $Q_{\text{возд max}} = 35...50$ л/с · м² относительно $\Omega_{\text{бр}}$. В фильтрах II подача воздуха эффективна при специальных воздухораспределителях. Максимальная скорость воздуха истечением его отдельными пузырьками в неподвижных фильтрах определена А.М. Фоминых в пределах 0,55 м/с. При такой скорости воздух в смеси с водой улучшает вынос засорений из пор фильтра. Большие скорости воздуха нарушают устойчивость материала фильтров [48]. Применение воздуха уменьшает $Q_{\text{пр}}$, дает ряд технико-эксплуатационных преимуществ (уменьшение запасов промывной воды, отказ от установки насосов и пр.). Воздух от компрессора в фильтры можно подавать по самотечно-промывным коммуникациям. Водовоздушная промывка особенно целесообразна при водоотборе из рек с малыми v_a и из водоемов. Добавление воздуха в количестве 35...50 л/с · м² площади сокращает $Q_{\text{пр}}$ и время промывки до 2 раз. Эффективная обратная промывка фильтров водоприемников рассмотрена в гл. 9.

Дренажные и промывные элементы являются важнейшими в конструкции любого водоприемника с фильтрующими элементами и могут выполняться в виде аванкамер (раструбных, вихревых, телескопических, открытых и др.) или иных типов водосборно-промывных устройств (трубчатых с различной перфорацией, эжекционных, трубофильтров с пористым слоем и др.). Однако во многих случаях промывка фильтрующих водоприемников затруднительна, особенно при сильно развитых площадях водоприема и малых $v_{\text{вх}}$, т.е. в инфильтрационно-фильтрующих и комбинированных сооружениях. Далее приведены примеры успешно работающих водоприемников в разных регионах. Большинство устройств для промывки фильтров водоприемников основано на теоретических и расчетных зависимостях установившегося движения несжимаемой вязкой жидкости с переменной массой. Конструктивно все промывные устройства решают исходя из обеспечения переменных расходов вдоль пути, переменных или постоянных поперечных сечений и соответственно с постоянными или переменными расходами. Методики расчета

вихревых камер наиболее разработаны, проверены в эксперименте и в натуре А.С. Образовским [1, 2, 6, 37], М.П. Омельченко – для щелевых водоприемников [6], А.И. Егоровым – для трубчатых систем водораспространения [71] и др. Известны методики расчета дренажных галерей фильтрующих водоприемников И.И. Макарова [7], дрен с переменной по длине перфорацией.

Литература к гл. 6

1. Образовский А.С., Ереснов Н.В., Ереснов В.Н. и др. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников. – М.: Стройиздат, 1976.
2. Вдовин Ю.И. Совершенствование технологий водоприема и водозаборных сооружений для систем водоснабжения на Севере / Дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1996.
3. Ереснов В.Н. Исследования затопленных водоприемников с рыбозащитными фильтрующими устройствами / Автор. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1979.
4. Мелкумов М.Д. Разработка и исследования морских водозаборов из Каспийского моря для Бакинской бухты / Автор. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1970.
5. Кузовлев Г.М. Специальные гидротехнические сооружения на атомных предприятиях. – М.: Атомиздат, 1973.
6. ВНИИ ВОДГЕО. Проектирование сооружений для забора поверхностных вод: Пособие к СНиП. – М.: Стройиздат, 1990.
7. Аверкиев А.Г., Макаров И.И., Сиютин В.И. Бесплотинные водозаборные сооружения. – Л.: Энергия. Л.о., 1969.
8. Мезенева Е.А. Совершенство водозаборно-очистных сооружений фильтрующего типа / Автор. дис. ... канд. техн. наук. – Н. Новгород, 1993.
9. Орлов Г.А., Шевелев Ф.А. Водоснабжение больших городов зарубежных стран. – М.: Стройиздат, 1987.
10. Wegelin M., Boller M. Particle Removal by Horizontal-Flow Roughing Filtration. – Aqua, 1988. – N3.
11. Журба М.Г., Мезенева Е.А., Чудновский С.М. Очистка в водозаборном узле // Метроном, 1996. – № 6.
12. Журба М.Г. Микроорошение: проблемы качества воды. – М.: Колос, 1994.
13. Минц Д.М., Мельцер В.З. Упрощенный метод технологического моделирования процесса фильтрования // Сб. науч. тр. / АКХ. Водоснабжение. – Вып. 98. – М., 1973.

14. Хазиков Н.Г. Инфильтрационный водозабор в суровых климатических условиях // Сб. тр. / ЛИСИ. — Л., 1968. — Водоснабжение и канализация в Восточной Сибири и на Крайнем Севере.
15. Кузовлев Г.М. О проектировании водохранилищных и морских водозаборов // Водоснабжение и санитарная техника. — М., 1966. — № 1.
16. Порядни А.Ф. Устройство и эксплуатация инфильтрационных водозаборов. — М.: Стройиздат, 1984.
17. Вдовин Ю.И. Теория и практика фильтрующего водоприема для систем водоснабжения. — М.: ВИНТИ, 1998.
18. Moravkova V. Biologické hidrocení koagulačné gač. Vodní Hospodárství, 1985, vol. V, N.12.
19. Журба М.Г. Очистка природных вод, подвергшихся антропогенному воздействию // Рос.-амер. симпозиум по проблемам очистки вод. — Н.Новгород—Москва, 1991.
20. Trihalomethanes from chlorination of algal. — Effluent and Water Treatment Journal, 1991, vol.21, N5.
21. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Госстрой. — М., 1974.
22. Смирнов А.А., Тимонова А.А. Водозабор с незатопляемой фильтрующей дамбой в водоеме // Сб. тр./ВНИИ ВОДГЕО. — М., 1988. — Водопрпускные и водозаборные сооружения.
23. Смирнов А.А. Использование фильтрующих водозаборов на водоемах // Сб. тр./ВНИИ ВОДГЕО. — М., 1985.
24. Журба М.Г. Пенополистирольные фильтры. — М.: Стройиздат, 1992.
25. Якунин Ю.В. Результаты натурных наблюдений за кольматацией грунтов в зоне действия инфильтрационных водозаборов // Сб. тр. / Красноярский ПромстройНИИпроект. — 1966. — Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера.
26. Булатов Е.П. Определение вымывающих скоростей фильтрации в приложении к расчету каптажных сооружений / Автор. дис. ...канд. техн. наук. — Омск, 1962.
27. Бурчак Т.В. Искусственное пополнение подземных вод. Расчет бассейнов и их систем. — Киев: Будівельник, 1986.
28. Жужиков В.А. Фильтрация. — М.: Химия, 1980.
29. Избаш С.В. О фильтрации в крупнопористых материалах // Изв. ВНИИГ. — Л., 1932. — Т. 1.
30. Яроцкий В.А. Гидравлические характеристики фильтрационного потока в каменной наброске // Сб. тр. / ВНИИ ВОДГЕО, 1968. — Вып. 21.
31. Cohen de G. Coefficient de perte de Charge en milieu poreux base sur l'équilibre hydrodynamique d'un massif. — La Houille Blanche. — Mars—avril 1955. — N 2.

32. Hoare D.J. Geotextiles as filters. – *Ground Eng.* – 1984. – N 17. – T. 2.
33. Kopplin M. Siebfilterkassette zur Grobfiltrierung von Oberflächen Wasser für die Beregnung. – *Melior. Land – Wirtschaft-Bau.* – 1980. Jg 14. – H.6.
34. Wegelin M. Particle Removal by Horizontal – Flow Roughing Filtration. – *Aqua.* – 1987. – N 2.
35. Шехтман Ю.М. Фильтрация малоконцентрированных суспензий. – М.: Изд-во АН СССР, 1961.
36. Рекламно-информ. каталог НПФ «Экотон». – Белгород, 1998.
37. Образовский А.С. Материалы координационного совещания по вопросам исследований, проектирования, строительства и эксплуатации водозаборов из рек, волохранилищ и морей. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1967.
38. Соломенник С.Ф. Особенности работы и расчет подрусовых водозаборов в суровых природно-климатических условиях / Автор. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1989.
39. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. – М.: Стройиздат, 1964.
40. Леви И.И. Моделирование гидравлических явлений. – М.: ГЭИ, 1968.
41. Образовский А.С. Гидравлика затопленных водоприемных оголовков. – М.: Стройиздат, 1963.
42. Офицеров А.С. Вопросы гидравлики водозабора. – М.: Госстройиздат, 1952.
43. Студенчиков Б.И. Неразмывающие скорости потока для камня и грунтов разного грансостава // Сб. тр. / ВНИИ ВОДГЕО. – 1968. – № 2.
44. Яковлев С.Д. Влияние расположения входа воды в самотечные трубы на вовлечение наносов // Водоснабжение и санитарная техника. – М., 1936. – № 12.
45. Курганов А.М. Водозаборные сооружения систем коммунального водоснабжения. – М.: СПб., 1998.
46. Абрамов С.К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. – М.: Стройиздат, 1973.
47. Алексеев В.С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. – М.: Стройиздат, 1990.
48. Фоминых А.М. Промывка неподвижных загрузок фильтрационных сооружений // Изв. вузов / Строительство и архитектура. – Новосибирск, 1957. – № 7.
49. Сб. Актуальные проблемы биологии синезеленых водорослей. – М.: Наука, 1974.
50. Кульский Л.А., Сиренко Л.А., Шкавро З.Н. Фитопланктон. – Киев: Наукова думка, 1986.

51. Гусева А.К. Факторы, обуславливающие развитие фитопланктона в водосме // Первичная продукция внутренних водоемов. — Изд. АН Бел.ССР, 1961.
52. Гапочка Л.Д. Об адаптации водорослей. — М.: Изд. МГУ, 1981.
53. Кузьменко М.И. Миксотрофизм синезеленых водорослей и его экологическое значение. — Киев: Наукова думка, 1981.
54. Санитарная и техническая гидробиология. — М.: Наука, 1967.
55. La gestion de la qualite de l'eau du Lac Neusiedl. — AQWA, 1981, N5.
56. Tilzer M.M., Sommer U., Celler W. Untersuchungen zum Stoffhaushalt in der Freiwasserzone des Bodensees / Oberlinger See. — Gas U. Wasserfach. Wasser — Abwasser. — 1985, N9.
57. Mackle H., Stabel H. Phytoplanktonentwicklungen in tiefen Voralpenseen. — Wasser — Abwasser, Gas — und Wasserfach. — 1987, N10.
58. Nelson O.F. Microstraining helps Kenosha. — Water a. Sew. Works, 1991, v.108, N5.
59. Ontrolling Algae Growth. — Water Bulletin, 1984, N111.
60. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. — М.: Изд. МГУ, 1996.
61. Образовский А.С. Гидравлика водоприемных ковшей. — М.: Стройиздат, 1962.
62. Laursen E.M. The total Sediment load of streams. Journal of the Hydraulics division. — Proc. of the ASCE, 1958, February.
63. Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. — Л.: ГМИ, 1987.
64. Trueb E. Horizontaldurchflossene Kiesfilter zur Vorreinigung von oberflaechen wasser, besonders in Entwicklungslaendern // 3R International. — 1982.
65. Порядин А.Ф. Водозаборы в системах централизованного водоснабжения. — М.: Изд. НУМЦ Госкомэкологии РФ, 1999.
66. Берданов В.М., Боголюбов К.С. и др. Искусственное пополнение подземных вод в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. — М.: Стройиздат, 1978.
67. Альшуль А.Х., Усенко В.С., Чабан М.О. Регулирование запасов подземных вод. — М.: Колос, 1977.
68. Hall I.I. A ready-made water filter plant. — Amer. City. — 1987. — Vol. 72. — N 8.
69. Бондарь Ф.И., Ереснов Н.В., Семенов С.И., Суров И.Н. Специальные водозаборные сооружения. — М.: Стройиздат, 1963.
70. А.с. 1605929 СССР. Линня из морских синтетических водорослей, предназначенная для отфильтровывания частиц материала, содержащегося в подводных течениях, и ковер из морских синтетических водорослей, предназначенный для отфильтровывания частиц материала в подводных течениях / П. Алсон // БИ — М, 1990. — №41.

71. Егоров И.А. Гидравлика напорных трубчатых систем в водопроводных очистных сооружениях. – М.: Стройиздат, 1984.
72. Руденко Г.Г., Остапеня В.Т. Предварительная обработка воды на водозаборе // Повышение эффективности работы водозаборов из поверхностных и подземных источников / Материалы семинара МДНТП. – М., 1985.
73. Иванов В.Г. Тонкослойные отстойники для интенсификации очистки природных и сточных вод / Автор. дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 1998.
74. Багиров М.Н. О морских инфильтрационных водозаборах // Сб. тр. / Бакинский филиал ВНИИ ВОДГЕО. – Баку, 1973. – Вып. 15.
75. ВНИИ ВОДГЕО. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84). – М.: Стройиздат, 1989.

ГЛАВА 7. СЕТЧАТЫЕ УСТАНОВКИ И УСТРОЙСТВА

7.1. Гидродинамические закономерности фильтрации воды через сетчатые полотна

Процеживание через решетки и сетки из различных материалов применяют для извлечения из воды грубых примесей: речных наносов, взвеси, листьев, щепы и коры деревьев, фито- и зоопланктона и др. Основными установками для этих целей являются плоские и вращающиеся сетки с размером ячеек обычно 1×1 или 2×2 мм, монтируемые на русловых и береговых водозаборах. Барабанные сетки и микрофильтры сеток с размером ячеек 20...60 мкм монтируют на входе станций водоочистки.

Суспензии на фильтрат и осадок разделяются вследствие создаваемой разности давлений ΔP , под действием которой фильтрат проходит через ячейки сетки, а грубые взвешенные и плавающие частицы задерживаются на ней. Сетчатые фильтры с плоской или цилиндрической (реже сферической) поверхностью бывают периодического и непрерывного действия. Первые из них имеют неподвижную сетку, вторые — вращающуюся, обычно непрерывно промываемую специальными трубными системами с гидравлическими насадками.

Современное представление о сопротивлении сетчатых полотен и потерях напора в сетках базируется на функциональной зависимости между значениями потерь давления ΔP и параметрами, характеризующими плотность и вязкость жидкости ($\rho_{ж}$, μ), скорость движения воды через сетку v_c и характеристиками структуры сетчатых полотен, прежде всего гидравлическим радиусом l_c и порозностью сеток m_0 :

$$\Delta P = f(\rho_{ж}, \mu, v_c, l_c, m_0). \quad (7.1)$$

При выборе в качестве основных характеристик $\rho_{ж}$, l_c и v_c на основании p -теоремы можно получить зависимость между критериями Эйлера и Рейнольдса. При ламинарном движении жидкости в сетках условия подобия процесса определяются критерием Лагранжа ($La = idem$), что соответствует выражению

$$Eu = \frac{B}{Re_c} \quad (7.2)$$

Теоретические разработки подтверждены экспериментальными исследованиями К.Ф. Химицкого, Н.С. Краснова, Х.Я. Лонда, Ю.М. Кузьминых, В. Ананда, К. Виегорда и др. [1...6] на гидравлических и аэродинамических стендах в лабораториях и в натуре. Для фильтрующих сеток постоянных толщины и долей отверстий в ней (с постоянной начальной пористостью m_0) объем фильтрата W_ϕ , получаемый за время t с единицы поверхности сетки F , прямо пропорционален разности давлений на входе и выходе сетки ($\Delta P = P_1 - P_2$) и обратно пропорционален вязкости фильтрата μ и сопротивлению осадка, образуемого на сетке,

$$\frac{dW_\phi}{Fdt} = \frac{\Delta P}{\mu(R_{oc} + R_c)} \quad (7.3)$$

Значение R_c в процессе фильтрования приближенно принимают постоянным, пренебрегая некоторым его увеличением от частичной закупорки ячеек твердыми частицами. Сопротивление слоя осадка в течение межпромывочного периода t_p переменное, оно увеличивается от 0 в начале фильтроцикла до максимума — в конце. Если величину максимума не контролируют специальными датчиками, то в конце фильтроцикла возможны кратковременные проскоки части ранее задержанного осадка и отдельных частиц в фильтрат. Вследствие этого возможны краткосрочные снижения значения ΔP , впоследствии снова возрастающего. С позиций технологии водоочистки этого допускать не следует, так как в момент прорыва части осадка в фильтрат качество его ухудшается.

Данный процесс логично рассматривать как фильтрование с образованием несжимаемого или сжимаемого осадка на несжимаемой перегородке, что рассмотрено в [9, 10]. При установлении его закономерностей вводят допущения, что давление на границе раздела осадка и сетки P_1 мало по сравнению с постоянным давлением перед очистным устройством P_2 , а содержание влаги в осадке остается на всем протяжении фильтрования постоянным. Удельное сопротивление сетки $R_{c,уд}$ также считаем постоянным. Толщину слоя осадка h_{oc} находят из уравнения материального баланса с учетом пропорциональности объемов осадка, накапливаемого на сетке, и объема фильтрата:

$$h_{oc} = \frac{W_{oc}}{W_{\Phi}} \left(\frac{W_{\Phi}}{F} \right) = X_0 \frac{W_{\Phi}}{F}. \quad (7.4)$$

Приняв за удельное объемное сопротивление осадка r_0 сопротивление, оказываемое потоку фильтрата равномерным слоем осадка толщиной 1 мм, можно выразить сопротивление осадка как

$$R_{oc} = r_0 h_0 = r_0 X_0 \frac{W_{\Phi}}{F}, \quad (7.5)$$

где X_0 — толщина слоя осадка, мм.

С учетом (7.5) основное дифференциальное уравнение фильтрования при несжимаемом осадке на несжимаемой сетке примет вид

$$\frac{dW_{\Phi}}{Fdt} = \frac{\Delta P}{\mu \left(r_0 X_0 \frac{W_{\Phi}}{F} + R_c \right)}. \quad (7.6)$$

При фильтровании суспензий через сетчатое полотно слой осадка на сетке возрастает, приводя к повышению его сопротивления. При постоянном давлении жидкости на входе ($P = \text{const}$) в процессе фильтроцикла скорость фильтрования будет уменьшаться. Тогда при постоянных значениях ΔP и μ (7.6) осадка, накапливаемого на сетке, и объема фильтрата:

нение после его интегрирования в пределах от 0 до t и от 0 до W_Φ принимает вид

$$W_\Phi^2 + 2 \frac{R_c F}{r_0 X_0} W_\Phi = \frac{\Delta P F^2}{\mu r_0 X_0} t. \quad (7.7)$$

При постоянной скорости фильтрования уравнение процесса процеживания суспензий через сетки имеет вид

$$\Delta P = \mu v (r_0 X_0 t + R_c). \quad (7.8)$$

В этом режиме работы сетчатых фильтров можно принять падение давления на сетке величиной постоянной $\Delta P_c = \text{const}$. Падение давления в слое осадка ΔP_{oc} определяется как разность общего перепада давления на фильтре и перепада давления на сетке [9]. Для такого случая

$$\Delta P = \mu r_0 X_0 v^2 t (\Delta P_{oc})^3 + \mu R_c v. \quad (7.9)$$

Из условий прочности сеток и предотвращения проскока ранее образовавшегося осадка через сетку с ячейками размером 20...60 мкм рекомендуется принимать максимальное значение ΔP_{max} , м, к концу фильтроцикла

$$\Delta P_{max} \leq 0,1 \dots 0,2. \quad (7.10)$$

Тогда при принятой скорости фильтрования v продолжительность полезного фильтрования между промывками сетки будет

$$t_\Phi = \frac{\Delta P_{max} - \mu R_c v}{\mu r_0 X_0 (\Delta P_{oc})^3 v^2}. \quad (7.11)$$

Для осадков, образуемых взвесью с размером частиц порядка 1...100 мкм значение r_0 находят экспериментально в каждом конкретном случае. Для осадков с размером частиц $d > 1$ мм коэффициент сопротивления r_0 приближенно составляет

$$r_0 = k \frac{\alpha (1 - m_0)^2}{m^3 d_n^2}, \quad (7.12)$$

где α — коэффициент формы частиц, определяемый соотношением поверхности шара к поверхности тела того же объема; k — эмпирический коэффициент.

При сжимаемом осадке на несжимаемой перегородке в уравнении (7.7) удельное объемное сопротивление осадка

$$r_0 = r'_0 (\Delta P)^{s'}, \quad (7.13)$$

где r'_0 , s' – постоянные, определяемые опытом.

При постоянной скорости фильтрования ($v = \text{const}$) значения ΔP и r_0 непрерывно изменяются с течением времени t . С возрастанием t значение ΔP_{∞} и общая ΔP возрастает тем сильнее, чем больше показатель сжимаемости s' . В этом случае продолжительность фильтроцикла сетчатого фильтра

$$t_{\phi} = \frac{\Delta P - \Delta P_c}{\mu r'_0 \Delta P^{s'} \chi_0 v}. \quad (7.14)$$

Влияние различных факторов на процесс фильтрования через сетчатые полотна с образованием на них сжимаемого осадка в первую очередь обуславливает характер изменения удельного сопротивления осадка. Способы определения последнего базируются на моделировании процесса фильтрования, причем удельное сопротивление осадка определяют либо при фильтровании с помощью уравнения (7.3), либо по его окончании. Оптимальный вариант работы сетчатой фильтровальной установки применительно к водным суспензиям тот, при котором при наименьших гидравлических сопротивлениях на сетке и в слое осадка и минимальных затратах на промывку фильтрующего полотна обеспечивается максимальная скорость фильтрования при заданной степени очистки воды. Последнее достигается анализом качества фильтруемых суспензий, заданием эффекта очистки, правильного подбора размера ячеек сетки и назначения начальных скоростей фильтрования v_c при заданном перепаде давления ΔP_c на сетке. При вращающихся сетках и сеточных камерах эффект извлечения грубодисперсной взвеси из речной воды определяют соотношением между скоростью подхода потока к сетке $v_{н.с}$ или в сетке v_1 и скоростью движения самой сетки v_c .

Опыты с различными скоростями потока воды через сетки v_1 и скоростями их движения v_c позволяют построить графики вида $\Delta G = f(v_{н.с}, v_c)$, отражающие зависимость эффективности задержания речного мусора ΔG сеткой от соотношения v_c/v_1 [1]. Возрастание v_c резко увеличивает вынос частиц загрязнителя. С повышением загрязненности потока эффективность задержки мусора на сетке возрастает. Структура потока и конструкции приемных сеточных камер влияют на эффект выноса мусора из глубины и поверхности потока и его задержание на вращающейся сетке. Струенаправляющие устройства на входных окнах в сетчатых камерах и внутри них, применение укороченных камер исключают образование горизонтальных вихревых вальцов перед сеткой, способствуя более эффективной работе вращающихся сеток.

На сопротивление сетки R_c в данном случае влияет в значительной степени размер ее ячеек, толщина и форма проволоки, число Рейнольдса Re и скорость движения сетки. К.Ф. Химицкий предложил формулу для определения коэффициента сжатия струи

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \sqrt{k(1 - \eta_1^2)}}, \quad (7.15)$$

где $\eta_1 = \frac{\omega_1}{\omega_0}$ — коэффициент сжатости, характеризующий степень стеснения потока при прохождении через отверстия; ω_1 , ω_0 — соответственно площадь отверстий и живого сечения потока перед отверстиями.

Коэффициент формы кромок входных отверстий:

$$k = \frac{0.4}{16 \frac{r}{a}}, \quad (7.16)$$

где e_n — неперово число; r — радиус закругления сеток или кромок отверстий; a — линейный размер отверстия или ячейки.

На основе уравнения неразрывности формулы Борда и формул (7.2) и (7.3) в этом случае коэффициент сопротивления сетки R_c можно найти из выражения

$$R_c = (1 + \sqrt{k(1 - \eta_1^2)} - \eta_2)^2, \quad (7.17)$$

где

$$\eta_2 = \omega_1/\omega_2, \quad (7.18)$$

В (7.18) ω_2 — площадь сечения струи в створе, где заканчивается ее расширение. Такой важный фактор, как средняя скорость потока перед отверстиями сетки $v_{н.с.}$, учитывается относительным коэффициентом сопротивления

$$R_{c.о} = \frac{h_v}{v_0^2/2g} \left(\frac{1 + \sqrt{k(1 - \eta_1^2)} - \eta_2}{\eta_2} \right)^2, \quad (7.19)$$

где h_v — значение потерь напора на сетке.

Значение коэффициентов сопротивления $R_{с.д}$ и расхода $\mu_{с.д}$ во вращающихся сетках определяется скоростью движения самой сетки. Экспериментально [3] получено:

$$\beta_1 = \frac{R_{с.д}}{R_c} = 1 + 0,6 \frac{v_c}{v_1}, \quad (7.20)$$

$$\beta_2 = \frac{\mu_d}{\mu_c} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,4 \frac{v_c}{v_1}}}, \quad (7.21)$$

где R_c, μ_c — соответственно значения коэффициентов сопротивления и расхода для неподвижных сеток.

Пределы использования приведенных выше формул ограничены значением $r/a \approx 0,01 \dots 0,025$, характерным для используемых в практике предварительной водоочистки проволок и отверстий сеток. Отметим, что они справедливы при значениях Re не менее

$$Re = \frac{v_1 R}{\nu} > 600, \quad (7.22)$$

где R — гидравлический радиус; ν — кинематический коэффициент вязкости.

При $Re < 600$ в формулы для определения R_c и R_{c_0} необходимо вводить поправки на основании зависимостей:

$$\beta_1, \beta_2 = f(Re). \quad (7.23)$$

Обстоятельные исследования гидравлических сопротивлений сетчатых фильтров выполнены А.Д. Альтшулем и Н.С. Красновым [8]. При фильтровании загрязненных речных и морских вод на сетчатых установках не образуется сплошной слой осадка на сетке; имеют место локальные ее загрязнения. Формулы для определения коэффициента сопротивления чистых сеток, основанные на зависимостях от коэффициента живого сечения или от чисел Рейнольдса, имеют ограниченное применение. Первые из них можно использовать лишь в квадратичной области сопротивления, вторые — в ламинарной и переходной областях.

Для сеток с размером ячеек от 0,004 до 1,15 см и коэффициентом живого сечения

$$m_c = \frac{a^2}{(a+d)^2}, \quad (7.24)$$

где a — размер стороны квадратной ячейки сетки; d — диаметр проволоки, равный 0,327...0,85 мм,

при средней скорости движения жидкости в ячейках 3,06...1262 см/с и числах Re 0,122...53600 (соответствующих практически всем встречающимся в практике сетчатым фильтрам) Н.С.Краснов предложил формулу определения коэффициента сопротивления сетки:

$$R_c = \frac{21,8}{Re} \left(\frac{1,1m_c}{1,2 - 1,56m_c + 0,46m_c^2} - m_c \right)^2. \quad (7.25)$$

Эта обобщенная зависимость может быть использована для нахождения потерь напора как в чистой сетке

$$h_c = \frac{A \gamma v_{н.с.}}{a g m_c} + R_{кв.с} \frac{v_{н.с.}^2}{2g m_c}, \quad (7.26)$$

так и в загрязненной после t часов фильтрования воды

$$h_{c,t} = \frac{[46 - 39m_c(1 - k_3)]vv_{nc}}{agm_c(1 - k_3)} + 0,35[1,05 - m(1 - k_3)] \frac{v_{nc}}{g(1 - k_3)^2 m_c^2}. \quad (7.27)$$

В формулах (7.25) и (7.26): $A = (46 - 39m_c)$; $R_{к.с} = 0,7(1,05 - m_c)$ — сопротивление сетки в квадратичной области; k_3 — коэффициент загрязненности сетки за время t от начала фильтрования ($k_3 = 0,8 \dots 0,9$).

Коэффициент загрязненности сетки k_3 при фильтровании различных суспензий устанавливают опытным путем. Он прямо пропорционален концентрации твердых частиц в воде C_0 с размером более размера ячеек сетки, продолжительности фильтрования между промывками t_ϕ , расходу суспензии Q и обратно пропорционален площади сетки F , коэффициенту ее живого сечения m_c , размеру ячеек сетки a , объемной плотности частиц твердой фазы ρ_2 :

$$k_3 \approx \alpha \frac{C_0 Q t_\phi}{m_c a F \rho_2}, \quad (7.28)$$

где $\alpha \approx 0,7 \dots 0,8$ — коэффициент сферичности формы частиц взвеси.

Опыты различных авторов, исследовавших потери напора в чистых сетках, можно представить единой криволинейной зависимостью $R_c = f(Re_c)$ при приведении всех расчетов к единым линейным размерам живого сечения ячеек сеток, выраженным через условный гидравлический радиус

$$l_c = \frac{a \lg \cos \frac{\pi}{2} \sqrt{m_c}}{m_c^{3/2}}, \quad (7.29)$$

где m_c — коэффициент живого сечения ячейки размером

$$a = (a + d) \sqrt{m_c}. \quad (7.30)$$

Общий вид кривой, представленной на рис. 7.1 в, описывается уравнением

$$R_c = \frac{B_n}{Re_c}. \quad (7.31)$$

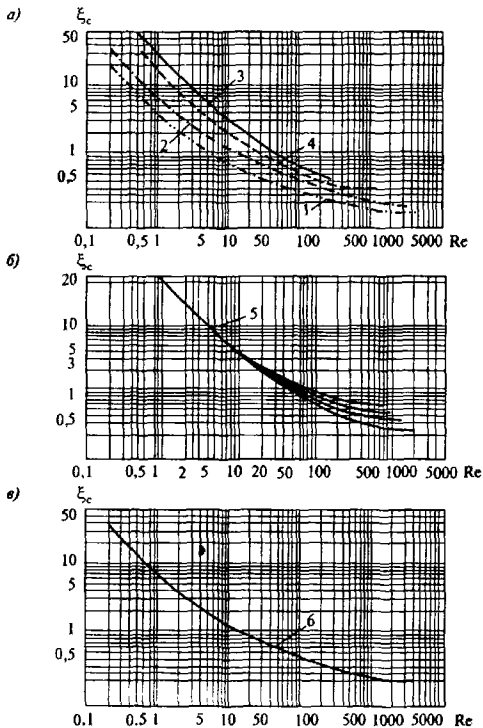


Рис. 7.1. Обобщенные зависимости (а-в) $\xi_c = f(Re)$ по данным:

1 – П. Грутенгюйса; 2 – Ю.М. Кузьмина; 3 – О.М. Хованского; 4 – ЛИСИ; 5 – Н.С. Краснова; 6 – общая кривая, полученная в результате анализа особенностей методик (1...5) и пересчета приведенных данных

Обработка экспериментальных данных позволила определить эмпирические коэффициенты для ламинарной области ($Re_c < 4$)

$$R_c = \frac{6,7}{Re_c} \quad (7.32)$$

и переходной области к турбулентному режиму ($Re_c > 4$)

$$R_c = \frac{2,38}{\sqrt[3]{Re_c}} \quad (7.33)$$

Для удобства в расчетах систем водоснабжения формула потерь напора в чистой сетке, выраженная через расход жидкости и удельное сопротивление S , имеет вид

$$h_{oc} = SQ_c^2 = \frac{R_c \rho_{ж} Q_c^2}{2A^2 F_c^2} \quad (7.34)$$

где A — число живого сечения сеток; F_c — площадь сетки; $0,25 < Re_c < 1000$.

Потери напора в сетке, частично закольматированной (перекрытой) загрязняющими компонентами, в общем виде можно выразить

$$h_{t,c} = \frac{h_{oc}}{(1 - K)^{2-n}} \quad (7.35)$$

где K — коэффициент загрязнения сетки.

7.2. Технологические закономерности процесса осветления воды и промывки полотен

Исходя из граничных условий, определяющих продолжительность фильтроцикла t_{ϕ} по значению предельного перепада давления воды на сетке ΔP_{\max} , при котором возможно ее повреждение, неконтролируемый проскок взвеси в фильтрат или снижение производительности установки по расходу ΔQ , Ю.М. Кузьмин предложил номо-

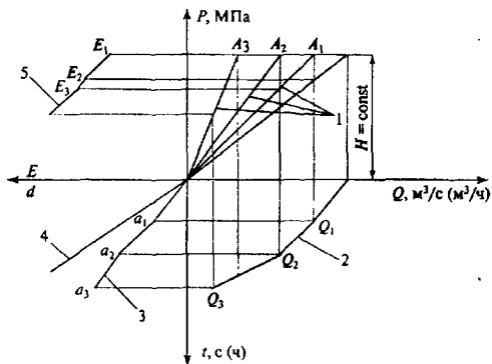


Рис. 7.2. Номограмма для технологического расчета сетчатых фильтрующих полотен (по Ю.М. Кузьмину)

грамму для технологического расчета таких фильтров (рис. 7.2). Она связывает основные параметры: степень очистки $E = f(a, t)$; рост потерь напора на сетке и в слое осадка $h = f(C_0, Q, r_0, t)$; расход фильтрата при постоянном давлении на выходе в фильтр $Q_\phi = f(a, P_{\text{вх}})$. Здесь значение $a = f(\Delta C_0, Q, t)$ характеризует постоянно изменяющуюся грязевую нагрузку на сетчатое полотно. При работе фильтра накопление и уплотнение осадка на полотне приводит при $P_{\text{вх}} = \text{const}$ к некоторому снижению производительности, оцениваемому коэффициентом полезного действия:

$$\eta = Q_\phi / Q_{\text{max}}, \quad (7.36)$$

где Q_ϕ, Q_{max} — соответственно фактическая и теоретически возможная начальная пропускная способность, $\text{м}^3/\text{с}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$), сетчатого полотна.

На рис. 7.3 а приведены графики изменения сопротивления сеток с различными размерами ячеек и в разных

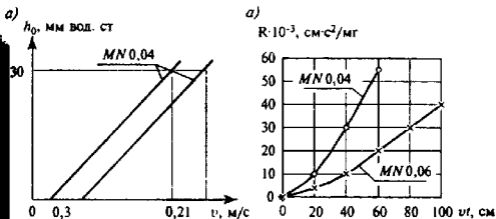


Рис. 7.3. Изменение сопротивления сеток:

а) – в начальный период работы; б) – со временем фильтрования после накопления осадка: $v = 0,5 \dots 2,6$ м/с; $C_0 = 5 \dots 16$ мг/л; фитопланктон = 32...54 тыс. кл/мл; $t = +12 \dots 15^\circ\text{C}$

условиях их работы и сопротивлений сеток с образовавшимися в процессе фильтрования на них осадками (рис. 7.3 б).

Важнейшим условием нормальной эксплуатации сетчатых фильтровальных установок в заданном режиме является их своевременная и качественная промывка. Кривые на рис. 7.4 определяют грязеемкость фильтра (в $\text{кг}/\text{м}^2$ поверхности), плотность осадка, интенсивность промывки (в $\text{л}/\text{с} \cdot \text{м}^2$), силы струй, вытекающих из гидравлической насадки (сопла) или отверстия труб системы распределения промывной воды. Если предположить (см. кривую I на рис. 7.4), что в любой промежуток времени концентрация растворенного вещества в промывной жидкости $C_{п,т}$ пропорциональна концентрации этого вещества в накопившемся на поверхности фильтрующего полотна осадке $C_{п,с}$, то интенсивность снижения концентрации вещества в промывной воде после достижения ее максимального значения можно выразить соотношением

$$C_{п,т} = C_{п,с} 10^{n(t_{н2} - t_{н1})}; \quad (7.37)$$

$$n = k_n v_n / h_0, \quad (7.38)$$

где n – тангенс угла прямой наклона к горизонтальной оси на графике (см. рис. 7.4) в логарифмических координатах; v_n – скорость

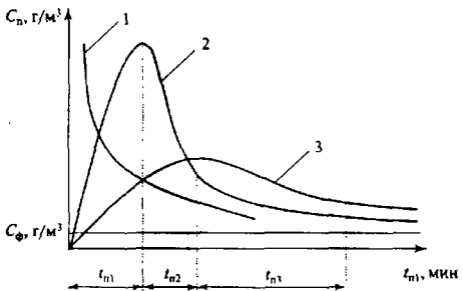


Рис. 7.4. Зависимость эффективности промывки сетчатых фильтров при разных интенсивностях промывки (1) и гряземкости фильтрующей загрузки (2, 3):

C_n , C_ϕ — соответственно концентрации взвешенных веществ в промывной воде в начале и в конце промывки; t_{n1} , t_{n2} , t_{n3} — продолжительность промывки

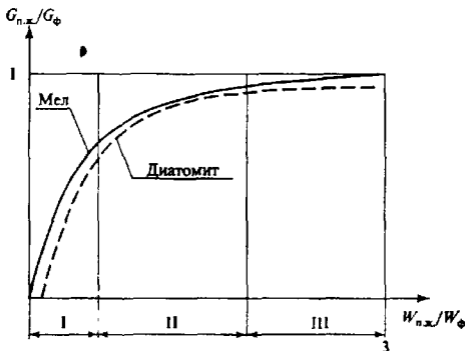


Рис. 7.5. Зависимость выноса частиц осадка при промывке фильтров

промывной воды, м/с; k_n — постоянная, зависящая от свойств осадка и промывной воды; h_0 — толщина слоя воды, м.

В реальных условиях характер выноса загрязнений при промывке сетчатого полотна с осадком чаще всего описывается кривыми вида 2 и 3. На первой стадии промывки продолжительностью t_{n1} происходит сброс фильтрата из пор осадка промывной жидкостью с одновременным разрушением части осадка (рис. 7.5). Она заканчивается, когда основная масса загрязнений, составляющих осадок, вынесена в сток. Эта стадия характеризуется постоянным ростом концентрации веществ в промывной воде и выражается уравнением

$$G_n/G_0 = a \frac{W_{n.ж}}{W_\phi}, \quad (7.39)$$

где G_n, G_0 — соответственно масса растворенного вещества в промывной жидкости и в фильтрате, содержащемся в осадке перед промывкой, кг; $W_{n.ж}, W_\phi$ — соответственно объем промывной жидкости и фильтрата в порах осадка перед промывкой, м³.

Для второй стадии

$$\frac{G_n}{G_0} = b + c \frac{W_{n.ж}}{W_\phi} + d \left(\frac{W_{n.ж}}{W_\phi} \right)^2. \quad (7.40)$$

Для третьей стадии

$$\frac{G_n}{G_0} = 1 - \frac{e}{W_{n.ж}/G_\phi}. \quad (7.41)$$

В уравнениях (7.39...7.41) a, b, d, e — эмпирические постоянные, зависящие от состава осадка.

При постоянной толщине слоя осадка h_0 скорость промывной жидкости определяют по формуле

$$v_n = \frac{\Delta P}{\mu_{n.ж}(r_0 h_0 + R_c)}, \quad (7.42)$$

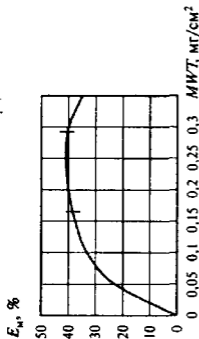
где $\mu_{n.ж}$ — вязкость промывной жидкости; ΔP — перепад давления жидкости на сетке при промывке.

7.3. Эффективность очистки воды на сетчатых установках

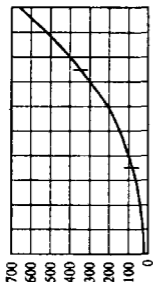
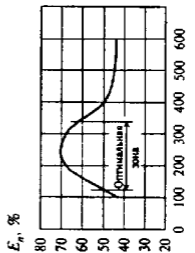
Наиболее распространенным технологическим приемом грубой очистки природных вод от минеральных взвешенных веществ и фитопланктона в системе коммунального и технического водоснабжения является микрофильтрация (МФ) через сетчатые барабанные устройства. Первые исследования эффективности воды на МФ были проведены В.Ф. Соколовым, Л.П. Баучером, Ю.И. Кузьминым, Х.Я. Лондом, Н.С. Красиовым, З.И. Винером [1...8]. Обстоятельные результаты исследований МФ получил в 1965—68 гг. Х.Я. Лонд, показав, что при удельной производительности МФ от 8,8 до 30,8 л/с · 1 м² полезной площади микросетки с ячейкой в свету 40 × 40 мкм при мутности исходной воды до 16 мг/л и численности синезеленых и диатомовых водорослей 32...53,6 тыс. кл/см³ средний эффект очистки от диатомовых водорослей составил 63 %, зеленых — 56,3 %, синезеленых — 74,3 %, от взвешенных веществ — 40 % [2].

При непрерывной промывке вращающегося сетчатого полотна с линейной скоростью вращения барабана 2,3...2,6 см/с потери напора на сетке не превышали 5...17 см, а расход воды на промывку не превышал 1,5...2 % общей производительности микрофильтра. Содержащийся в исходной воде зоопланктон задерживался полностью. Характерной особенностью технологического режима является зависимость эффекта очистки от характера пленки, образующейся при фильтровании на поверхности микросетки. Образующаяся пленка зависит в основном от количества и свойств фитопланктона и других взвешенных веществ, величины ячеек микросетки, удельной производительности МФ на 1 м² рабочей (затопленной) поверхности сетки, принятого режима промывки сетки. Характер пленки постоянно меняется. Отдельные клетки водорослей и частицы взвеси имеют полидисперсный характер и изменчивую структуру.

На рис. 7.6 представлены зависимости, характеризующие технологические параметры работы микрофильтра.

$\frac{\Delta H}{W_0}, \text{ с}^2/\text{см}^2$  $MWT, \text{ мг}/\text{см}^2$

0,9

 $E_m, \%$  $\frac{\Delta H}{W_0}, \text{ с}^2/\text{см}^2$

0,9

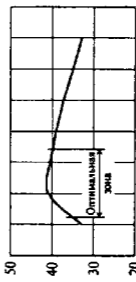


Рис. 7.6. Технологические характеристики работы сетчатых микрофильмов

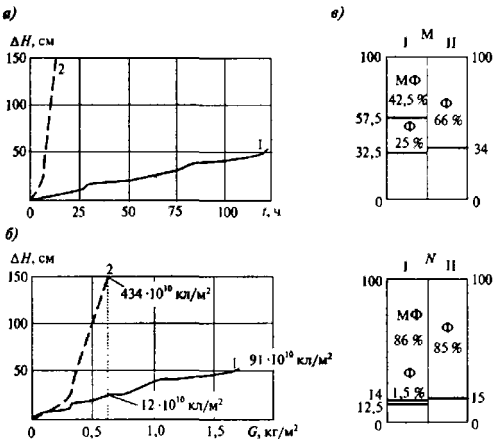


Рис. 7.8. Рост напора и эффект задержания взвеси в скором фильтре при скорости фильтрации 6 м/ч:

а) — рост потери напора в зависимости от времени; б) — рост потери напора в зависимости от количества взвеси, задержанной в скором фильтре; в) — эффект задержания взвеси; I — с применением микрофильтрации; 2 — без микрофильтрации, M — по весу взвеси; N — по количеству клеток фитопланктона; I — с применением микрофильтрации; II — без микрофильтрации

потерь напора на скорых фильтрах, работающих в реагентном режиме со скоростями фильтрования 4...8 м/ч и дозами по Al_2O_3 10 и 12 мг/л, без и после предварительной безреагентной фильтрации через МФ. Из графиков видно, что применение МФ перед песчаным скорым фильтром позволило увеличить продолжительность фильтроцикла при располагаемом напоре 200 см почти вдвое. Одновременно снизилась оптимальная доза реагентов по сравнению с двухступенной очисткой (отстойники и ско-

рые фильтры) с 20 до 12 мг/л. Эти исследования совместно с работами других авторов [1...4, 12] послужили основанием для рекомендаций расширения области применения реагентной очистки воды, предусматривающей в качестве первой ступени очистки МФ, а затем — контактные осветлители. При большом количестве водорослей в водоисточнике МФ применяют и в двухступенчатых схемах перед реагентной обработкой воды коагулянтами и хлорированием.

Переход на прочные синтетические полотна и полимерные каркасы позволил бы уменьшить известные недостатки МФ. К тому же устройство и эксплуатация комбинированных МФ с сетчатой и гранульной полимерной загрузкой [23] предотвратит неконтролируемый проскок взвеси и водорослей в фильтрат при более высоких грязевых и гидравлических нагрузках на 1 м² водоочистного фильтрующего элемента.

В практике очистки воды для систем технического водоснабжения и микроорошения используют сетчатые фильтры различных конструкций [38...41], которые отличаются:

- по применяемой технологической схеме — одно- или многоступенчатой с фильтрованием через сетки с уменьшающимися по ходу движения воды размерами ячеек сетки;
- по расположению сетчатого полотна — горизонтальные и вертикальные;
- по способу промывки — прямоточная, обратная или специальные виды промывок;
- по осуществлению промывки — ручная с извлечением сетки из корпуса фильтра, с ручным или автоматическим открытием запорных органов;
- по размеру ячеек сетки — от 0,020 до 0,074 мм;
- по материалу корпуса фильтра — полимерный, стальной, из нержавеющей стали, из легких сплавов, комбинированный;
- по материалу сетки — нержавеющая сталь, полимерное полотно.

Наибольшее распространение нашли сетчатые установки различных типов, которые в зависимости от техни-

ческих характеристик сеток (размеров и формы ячеек, типа плетения), конструктивных отличий и режимов работы применяют для очистки воды от крупных механических загрязнений, взвеси и планктона, содержащихся в воде. Использование сетчатых фильтров ограничивается, как правило, размером ячеек сетки до 40...75 мкм, так как применение сеток с ячейками меньших размеров приводит к резкому сокращению межпромывочного периода из-за интенсивного прироста потерь напора на фильтрующем элементе. Это, с одной стороны, увеличивает расход воды на промывку и время непроизводительного простоя фильтров, а с другой — повышает вероятность непредсказуемого локального прорыва осадка, накопившегося на сетке, в поливные трубопроводы.

Серийные фильтры выпускают фирмы США («G.I. Woods Co», «Holly», «Jardney», «Rain-Bird», «Drip-Eze», «Bermad» и фирмы других стран) (рис. 7.9). Фирма «G.I. Woods Co» [11] изготавливает несколько типоразмеров горизонтальных сетчатых фильтров с ручным открытием клапана сброса промывной воды. Схема одного из них показана на рис. 7.9 а. Базовая модель фирмы — DFM 1-9486, стоимость фильтра — 735 долларов в ценах 1988 г. Фильтры этой фирмы комплектуют баками для внесения удобрений.

Сетчатые горизонтальные фильтры фирмы «Holly» [11] (рис. 7.9 б) выполнены из нержавеющей стали; они работают только в режиме ручной промывки с извлечением сетчатого полотна из корпуса. Фирма изготавливает 2 типоразмера фильтров — S-100 и S-250. Фильтры потребителям поставляют вместе с баками для внесения жидких удобрений.

Сетчатые горизонтальные фильтры фирмы «Jardney» [11] (рис. 7.9 в) имеют цельносварной металлический корпус из нержавеющей стали и оборудуются системой автоматической промывки, срабатывающей при заданном перепаде давлений на фильтрующем элементе. Предусмотрена также возможность ручного открытия промывного клапана. Во входной камере фильтра размещена цилиндрическая полимерная решетка для защиты сетчатого полотна от повреждений. Все рабочие поверхности фильтра,

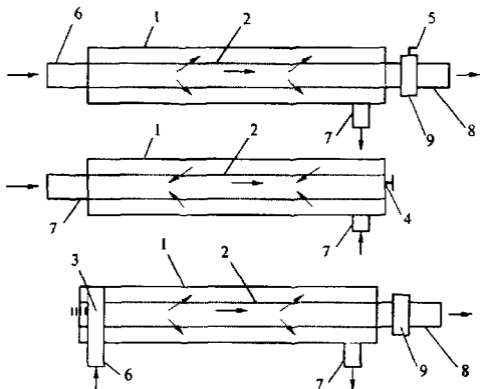


Рис. 7.9. Горизонтальные сетчатые фильтры для систем микроорошения американских фирм «G.T. Woods Co» (а), «Holly» (б) и «Jardney» (в):

1 – корпус; 2 – сетка; 3 – струеуправляющие лопатки; 4, 5, 9 – автоматические блоки переключения режимов работы; 6...8 – соответственно подача исходной воды, отвод очищенной и отвод промывной воды

включая обвязку, защищены антикоррозионным эпоксидным покрытием. Базовая модель фирмы Jard-8-1A, стоимость фильтра с ручной промывкой – 710 долларов, с автоматической – 1235 долларов в ценах 1988 г.

Горизонтальные сетчатые фильтры зарубежных фирм выполнены в виде цельносварных металлических цилиндров с антикоррозионным полимерным покрытием и могут работать как в режиме автоматической промывки, так и с ручным открытием клапана сброса промывной воды. Фирма «Rain-Bird» выпускает также несколько типоразмеров фильтров. Основные технологические и конструктивные параметры сетчатых фильтров приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1.

Основные технические характеристики сетчатых фильтров для систем микроорошения

Фирма-изготовитель или организация-разработчик, марка фильтра	Страна	Производительность, м ³ /ч	Диаметр фильтра, см	Длина сетки, м	Площадь сетки, м ²	Скорость фильтрации, м/ч	Размер ячеек сетки (в свету), мкм
«G.I. Woods Co»	США	90,8	12,7	1,2	0,492	185	—
«Holly» : S-100 S-250	•	22,7 56,8	— —	— —	0,21 0,43	108 132	500...75 500...75
«Jardney»	•	90,8	8,9	1,02	0,285	319	85
«Rain-Bird», RB-400	•	22,7...90,8	8,9	1,5	0,419	54...217	240...75
«Drip-Eze»	•	17...51	12...25	0,5...1,2	0,2...1	51...85	—
«Bermad»	•	22,7	15	0,42	0,21	108	420...75
ПТБ «Волстрой-индустрия» ФСС-6К	Украина	21,6	(0,45)	0,8	0,8	42	200
УкрГипроводхоз	•	101	(0,35)	3,16	0,8	131	50

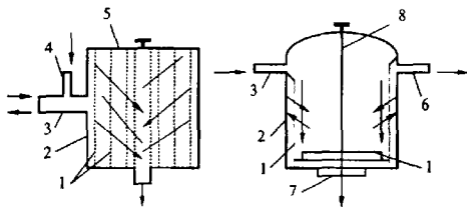


Рис. 7.10. Вертикальные сетчатые фильтры американских фирм «Drip-Eze» (а) и «Vertmad» (б):

1 — сетка; 2 — корпус; 3 — патрубок подачи исходной воды; 4 — патрубок подачи жидких удобрений; 5 — быстротъемная крышка; 6 — патрубок отвода фильтрата; 7 — патрубок сброса промывной воды; 8 — гидроцилиндр

Вертикальный сетчатый фильтр фирмы «Drip-Aze» [11] (рис. 7.10, а) реализует принцип многоступенчатого фильтрования в направлении убывающего размера ячеек сетчатого полотна, для чего в корпусе фильтра предусмотрена установка 2–3 цилиндрических сеток, размещенных коаксиально одна внутри другой. В результате такого расположения сеток с меньшим размером ячеек увеличивается скорость фильтрования через них. При производительности 17...34 м³/ч используют 2 сетки с ячейками 0,105 и 0,088 мм, при производительности более 51 м³/ч — 3 сетки с размером ячейки соответственно 0,149; 0,105 и 0,088 мм.

Частичную отмывку сетчатых полотен осуществляют обратным током воды, а полную очистку сеток производят вручную с извлечением сетки из корпуса фильтра. Для этого верхнюю крышку фильтра оборудуют быстротъемным креплением. В фильтрах такой конструкции предусмотрен специальный патрубок для ввода жидких удобрений.

Вертикальный сетчатый фильтр фирмы «Vertmad» [11] (рис. 7.10, б) изготовляют из формованной поликарбонат-

ной пластмассы высокой прочности. Конструктивно фильтрующий элемент выполнен в виде цилиндрической корзины, в которую вставляется сетчатое полотно из нержавеющей стали. Фильтр оснащен системой автоматической промывки, срабатывающей при заданном перепаде давлений на фильтрующем элементе.

Система выполнена в виде гидроциклона, на котором установлен диск со щетками, обеспечивающими очистку сетчатого полотна во время промывки. Одновременно с началом движения щеток открывается клапан сброса промывной воды. После окончания промывки с помощью специальных пружин система возвращается в исходное положение. Основные параметры вертикальных фильтров представлены в табл. 7.2.

Таблица 7.2.

Классификация ячеек сеток и частиц взвеси, способных на них задержаться

Количество меш в сетке	Эквивалентный диаметр, мкм	Название частиц	Эквивалентный диаметр, мкм
16	1180	Крупнозернистый песок	1000
20	850	Среднезернистый песок	250...500
30	600	Мелкозернистый песок	50...250
40	425	Ил	2...50
100	150	Глина	2
140	106	Бактерии	0,4...2
170	90	Вирусы	0,4
200	75	То же	< 0,4
270	53	*	< 0,4
400	38	*	< 0,4

На ряде зарубежных систем применяют и другие разновидности сетчатых фильтров. Так, во Франции используют сетчатые фильтры систем «Нетафим» и «Плюидор», в США — двойные сетчатые фильтры с отверстиями 0,09 и 0,07 мм. В Англии на одной из систем капельного орошения яблоневого сада эксплуатируют нейлоновый сетчатый фильтр. В Австралии практикуют применение в качестве очистных устройства с ячейками шириной 0,076...0,21 мм и плавучие фильтры типа «Льюис» с сеткой 0,124 мм, оборудованные системой автоматической промывки. Отметим, что описанные выше фильтры обслуживают обычно небольшие площади орошаемых участков частных фирм.

При правильном обслуживании и калибровке сетчатые фильтры достаточно хороши для удаления взвешенных частиц из воды, но они имеют ограниченную пропускную способность. Для повышения такой способности обычно увеличивают общую поверхность фильтрования, хотя практически и этому есть предел. Для преодоления указанного ограничения разработчиками были сконструированы и изготовлены промывные устройства, работающие по принципу поперечного напорного потока струй воды, с помощью которого скопление веществ на сетке вымывалось потоком жидкости и обеспечивало самопромывание без разборки оборудования.

Скважность (пористость) широко распространенных зарубежных фильтров, применяемых в системах технического водоснабжения, варьируется в пределах 140...200 меш. Предназначены они в основном для удаления мелкозернистого песка. При дальнейшей работе удаляются более мелкие частицы, поскольку в противном случае скопление взвеси приводит к уменьшению эффективного диаметра отверстий по сравнению с первоначальной величиной. Напорные сетчатые фильтры малоэффективны при борьбе с большими количествами водорослей. Мягкие водоросли способны переплетаться с ячейками сетки, что затрудняет очистку из-за плотного их наложения.

При изготовлении сеток широко используют коррозионноустойчивые нержавеющую сталь и пластмассы. Для предотвращения деформации, вызываемой перепадами давления, хорошей опорой для сетчатого элемента может быть мягкая ткань и жесткая проволочная сетка. Периодически сетки необходимо проверять на механическую целостность. Любой незначительный разрыв или расширение ячейки существенно влияет на работоспособность сетки.

Диспропорция воды и взвешенных частиц значительно выше в расширенных ячейках по сравнению с нормальными. О состоянии сетчатого фильтра сигнализируют показания манометров, установленных на входе и выходе фильтра. Резкое падение давления на сетчатом полотне показывает начало забивания фильтра. Однако, если в течение длительного времени не происходит изменений в перепаде давлений на сетке, то это означает, что сетки или уплотнения повреждены или размер ячеек слишком увеличился (предполагая, что система не относится к самопромываемому типу, в котором изменения давления менее заметны, чем в других сетчатых фильтрах).

Небольшой модификацией жесткой сетки является «мешочный» тип фильтра с мягкими гибкими сторонами, который похож на корзину. Этот тип фильтра обычно изготавливают из таких материалов, которые можно несколько раз прочистить перед его заменой. Сюда же относятся фильтры патронного типа с промываемыми и заменяющимися вкладышами и фильтры-ситы, используемые, главным образом, на приусадебных участках, в питомниках и на лужайках парков. Фильтровальные устройства малых размеров могут быть удачно размещены внутри трубопроводов.

Фирма «Осмоникс Инкорпорейтед» разработала три вида складчатых фильтров патронного типа для высоких расходов и малых перепадов давления в зависимости от требований к очистке: «Флотрекс» — с фильтрующей средой из чистого полипропилена (0,2...40 мкм), «Вентрекс» — с фильтрующей средой из полипропилена и микростекловолокна, «Мемтрекс» — с фильтрующей

средой из нейлона (0,1...0,45 мкм). Их стандартная длина составляет 127 см.

Так, фирма «Клод Лаваль Корпорейшн» выпускает сепараторы «Лакос» с сетчатыми вставками, позволяющие удалять до 98 % песка [51]; их производительность — 2800 гал/мин, с ячейками 200 меш. Для систем микроорошения фирма «Соркоор» (США) предлагает фильтры «Аркал» с конструкцией, имеющей пластмассовые кольца со шлицами, обеспечивающими фильтрование в трех измерениях с большой фильтрующей поверхностью.

В странах СНГ для очистки воды на системах микроорошения применяют фильтрующие сетчатые кассеты и конусные фильгры с гидравлической промывкой сетчатых полотен, разработанные в Украинском институте инженеров водного хозяйства. Прошли испытания опытные образцы сетчатых фильтров, разработанных ПТБ «Водстройиндустрия» и УкрГипроводхозом. Вертикальный сетчатый фильтр ФСС-6К, разработанный ПТБ «Водстройиндустрия», имеет полимерный корпус из полиэтилена, фасонные части которого выполнены из литого алюминия. Такими фильтрами оснащаются системы микроорошения «Таврия». Горизонтальный сетчатый фильтр ФК, разработанный УкрГипроводхозом, выполнен по аналогии с зарубежными конструкциями, описанными выше, и отличается от них устройством клапана для автоматической промывки сеток. Предусмотрена также возможность ручного открытия промывного клапана.

Конструктивные схемы и общий вид некоторых из таких конструкций приведены на рис. 7.11 и 7.12. Следует отметить, что зарубежные фирмы-изготовители сетчатых фильтров, как правило, не приводят данных по эффективности очистки от взвешенных веществ, а также не указывают такие важные параметры, как продолжительность фильтроцикла и расход воды на собственные нужды при разной степени загрязненности воды. Однако представление о технологической эффективности сетчатых фильтров можно получить, анализируя данные табл. 7.3.

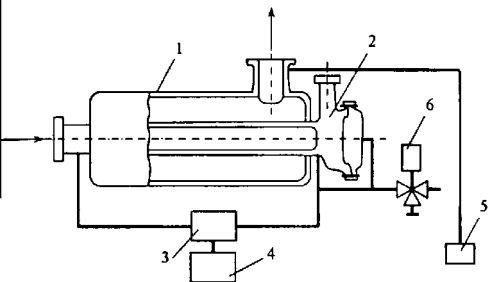


Рис. 7.11. Автоматический сетчатый фильтр фирмы «Rain-Bird»:
 1 – корпус; 2 – узел промывки; 3 – дифференциальное реле; 4 – счетчик промывки; 5 – электромагнитный клапан; 6 – вентиль

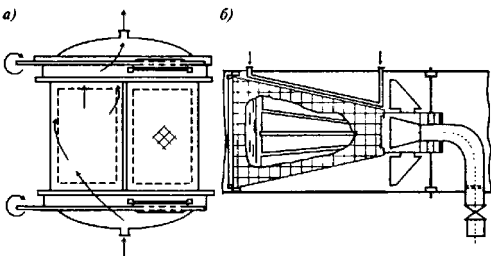


Рис. 7.12. Сетчатые фильтры с попеременной автоматической промывкой:

а) – блочный многосекционный; б) – конусная сетка, смонтированная в напорный трубопровод

Таблица 7.3.

Технологические параметры сетчатых фильтров

Показатель	Значение показателя для фильтра	
	ПТБ «Водострой-индустрия» ФСС-6К	УкрГидро-водхоз, ФК
Размер ячеек сетки в свету, мкм	200	50
Допустимое содержание взвеси в исходной воде, мг/л	250	250
Допустимый размер взвеси в исходной воде, мкм	500	250
Максимальный эффект очистки по взвешенным веществам, %	30	28
Размер частиц взвеси в фильтрате, мкм	200...300	75...200
Продолжительность фильтроцикла, ч	4	0,18
Расход воды на промывку, м ³ /ч	50	50
Продолжительность промывки, ч	0,05	0,05
Количество промывок в сутки, шт.	6	12
Масса фильтра, кг	80	120
Максимальное давление воды на входе, МПа	0,6	0,6
Стоимость фильтра ¹ , руб.	400	600

Из табл. 7.3 следует, что сетчатые фильтры малоэффективны при удалении мелкодисперсных взвешенных веществ размером менее 75...100 мкм. Их целесообразнее использовать для очистки воды от крупных водорослей, листьев, песка, щепок.

При содержании в оросительной воде значительного количества гидробионтов и фитопланктона для ее очист-

¹ В ценах 1985 г.

ки рекомендуется использовать микрофильтры. При прохождении воды через их фильтрующие элементы на внутренней поверхности сетки задерживаются загрязнения, которые струями воды из разбрызгивателей промывного устройства смываются в бункер и далее по центральной трубе подаются в утилизатор. Производительность серийно выпускаемого микрофильтра диаметром 1 м при габаритной длине 3 м составляет 500 м³/ч, установленная мощность электропривода – 2,5 кВт.

В 1986–1990 гг. в ЦНИИКИВР испытаны щелевые фильтры для удаления крупных плавающих загрязнений. Конструкция одного из них показана на рис. 7.13. Щелевые

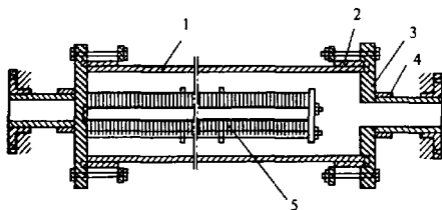


Рис. 7.13. Полимерный щелевой фильтр:

1 – полимерный корпус; 2 – опорные утолщения; 3 – фланцевое соединение; 4 – присоединительные патрубки; 5 – фильтрующая кассета со щелевыми кольцами

элементы, обладающие по сравнению с сетчатыми полотнами гораздо более высокой механической прочностью, позволяют существенно повысить производительность и надежность фильтров этого типа, так как допускают более высокие перепады давлений на фильтрующем элементе в течение фильтроцикла.

Гидравлическая расходно-напорная характеристика фильтра представлена на рис. 7.14. Потери напора в ре-

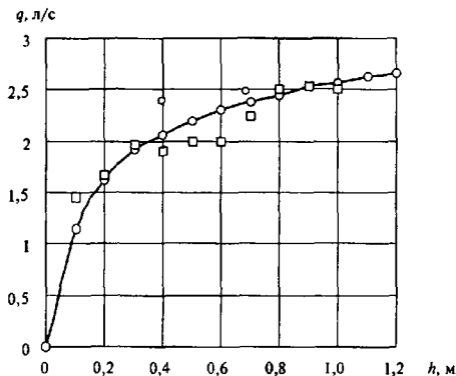


Рис. 7.14. Напорно-расходная характеристика щелевого полимерного фильтра:

○ — режим фильтрации; □ — режим промывки без разжатия колец

жимах фильтрации и промывки при работе на чистой воде практически совпадают. При более плотном сжатии пакета колец начальные потери напорв могут возрасти в 3—4 раза.

Работу фильтра на мутных водах исследовали на двух типах минеральных замутнителей. Проведено 12 фильтроциклов продолжительностью до 6 ч, в которых варьировали концентрацию взвешенных веществ в исходной воде, скорость фильтрации, гранулометрический состав взвеси в исходной воде. В ходе исследований контролировали концентрацию взвешенных веществ, их гранулометрический состав, расходы и напоры. Результаты технологических исследований фильтров такого типа представлены в табл. 7.4.

В целом наблюдается корреляция между увеличением концентрации взвешенных веществ и гряземестимости, с

одной стороны, и увеличением темпов прироста потерь напора и падения полезного расхода воды, с другой стороны.

Таблица 7.4.

Технологические исследования фильтра

Время работы фильтра, ч	Средний расход воды, м ³ /ч	Концентрация взвешенных веществ, средняя, мг/л		Потери напора, м	Темп прироста потерь, м/ч	Грязевместимость фильтра кг/м ³
		в исходной воде	в фильтрате			
6	7,3	226	196	13,8	2,1	8,3
6	6,9	161	129	13	1,8	7,2
6	8,5	128	98	12,9	2	6
4	7,1	269	159	13,6	3	5,8
5	6,2	595	462	16,1	3,2	18,9
6	8,6	531	264	13,3	2	8,3
6	9,6	512	229	11	1,5	8
5,5	3,9	926	692	12	1,8	13,8
6,5	7,2	634	431	10,6	1,4	8,6

Следует отметить достаточно устойчивый эффект очистки в диапазоне 20...50 %, который достигается при фильтровании мутных вод, содержащих грубодисперсные примеси. Анализ осадков, смытых с фильтра, показывает, что на фильтре задерживаются частицы с размерами от 10 до 150 мкм. Аналогичные результаты были получены и при анализе других осадков. Опыты по промывке, проведенные для проверки восстановления начальных потерь напора, показали, что фильтр хорошо промывается в течение не менее 30 с обратным током воды. Однако хорошо вымываются лишь частицы крупных размеров (50...100 мкм). Малые же частицы (менее 10 мкм) прилипают к кольцам и удаляются только при ручной отмывке после разборки филь а.

Повышения эффективности очистки воды на сетчатых фильтрах достигают совмещением в одном корпусе нескольких сетчатых фильтровальных перегородок с заполненным между ними пространством гранульной загрузкой. Для увеличения грязеемкости такого комбинированного фильтрующего элемента вокруг осевой подающей или отводящей воду трубы устраивают несколько концентрично расположенных жестких или гранульных слоев.

Известна конструкция сетчатого фильтра с зернистой загрузкой с радиальным подводом воды к фильтрующему элементу, состоящая из корпуса, фильтрующего элемента, выполненного в виде цилиндрических фильтрующих полотен с размещенными между ними гранулами зернистого тяжелого фильтрующего материала. Фильтр имеет патрубки подачи и отвода очищаемой и промывной воды. Недостатком этого устройства является его невысокая производительность, обусловленная малыми продолжительностями фильтроцикла между промывками из-за быстрой коагуляции зернистой загрузки.

Для устранения этих недостатков и увеличения производительности водоочистного комбинированного фильтра нами предложена конструкция, отличающаяся тем, что в корпусе фильтра установлен бункер, заполненный комплексом. Бункер снабжен обратным клапаном и соединен с трубопроводом подачи очищаемой и отвода промывной воды посредством патрубка с вентилем, причем обратный клапан установлен на перегородке, разделяющей внутреннюю полость корпуса и бункера, а фильтрующими элементами служат полиэтиленовый холст и крупногранульная полимерная загрузка.

Контакт в корпусе фильтра бункера с комплексом обеспечивает повышение производительности фильтра за счет улучшения работоспособности фильтрующих поверхностей при более качественной отмывке и, как следствие, увеличение продолжительности фильтроцикла.

На рис. 7.15 представлены разрезы разработанной авторами установки фильтра, состоящей из корпуса 1, полиэтиленовых холстов 2 и 3 с большим (100...150 мкм) и меньшим (50...70 мкм) диаметром пор соответственно зернис-

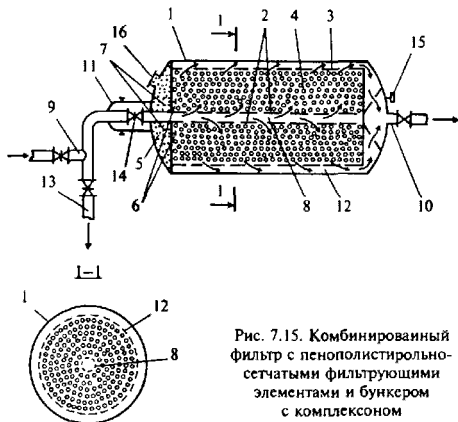


Рис. 7.15. Комбинированный фильтр с пенополистирольно-сетчатыми фильтрующими элементами и бункером с комплексом

той загрузки 4 (гранулы полистирола), бункера 5, заполненного комплексом через загрузочный патрубок 16 и снабженного обратными клапанами 6 с сеткой 7, внутренней трубой 8, кольцевой камеры 12 для сбора и распределения воды, трубопроводов 9 для подачи исходной, 13 — для отвода промывной и 10 — для подачи промывной и отвода очищенной воды, патрубков 11 — для заполнения фильтра раствором комплекса, дросселирующей задвижки 14, вентуза 15. Кроме того, патрубки и трубопроводы оборудуют необходимыми задвижками регулирования воды, проходящей через фильтр, при эксплуатации. Фильтр работает следующим образом. Исходную воду подают по трубопроводу 9 в центральную трубу 8 фильтра, фильтруют в радиальном направлении через полотно 2, загрузку 4 и полотно 3, собирают в камере 12 и отводят трубопроводом 10.

Промывают фильтрующие полотна и пенополистирольную загрузку в таком порядке. После закрытия за-

движки на трубопроводе 9 и открытия задвижки на трубопроводе 13 чистая вода из коллектора по трубе 10 поступает обратным током в камеру 12. Под давлением вода вымывает тонкодисперсный осадок с поверхностей полиэтиленовых фильтрующих полотен и пенополистирольной загрузки в трубу 8, а оттуда по трубе 13 — в канализацию. После 2 мин промывки задвижку на трубопроводе 10 закрывают, открывают вантуз 15 и остаток воды в фильтре сбрасывают по трубопроводу 13, закрывая на нем задвижку. Регулируя подачу воды задвижками 9, 14 и вентилями на патрубках 11, подают воду в бункер 5 и затем через клапан 6 внутреннюю полость фильтра заполняют раствором комплексона (например ЭДТА) на 3 мин. Комплексоны, являясь малорастворимыми в воде, образуют внутрикомплексные соединения с катионами, препятствуя тем самым зарастанию фильтрующей поверхности и способствуя их отмывке. После 3...5 мин контакта фильтрующего элемента с раствором комплексона вентили на патрубках 11 закрывают, также закрывают вантуз 15, открывают задвижки 14 на трубопроводе 10 и повторяют фильтроцикл.

Периодическое затворение (6—8 раз в сезон) раствором комплексона фильтрующих полотен и пенополистирольной загрузкой позволяет при рН воды в пределах 6,5...9,5 стабилизировать процессы, препятствующие зарастанию порового пространства полотен карбонатами. Вследствие этого повышается эффективность обратной промывки фильтрующих полотен и гранульной загрузки с диаметром гранул 0,3...0,8 мм без ее расширения, увеличивается производительность фильтра за счет снижения интенсивности роста потерь напора в процессе фильтрования во времени.

Литература к гл. 7

1. Химицкий К.Ф. Гидравлические исследования вращающихся секток и сетчатых камер промышленных водоприемников / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: МИСИ, 1962.
2. Лонд Х.Я. Исследование микрофильтрации для предварительной очистки питьевых вод / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Каунас, 1966.

3. Краснов Н.С. Исследование гидравлического сопротивления сетчатых фильтров / Автореф дис. ... канд. техн. наук. – М., 1968.
4. Кузьмин Ю.М. Напорные сетчатые фильтры систем водоснабжения / Автореф дис. ... д-ра. техн. наук. – Л.: ВВИТКУ, 1969.
5. Романенко В.А. Экспериментальные исследования способа очистки фильтрующего потока напорных сетчатых фильтров гидродинамического воздействия электрического разряда в жидкости / Автореф дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1969.
6. Сидорова И.А. Исследование процесса микрофильтрации для предварительной очистки и доочистки биологически очищенных промышленных сточных вод / Автореф дис. ... канд. техн. наук. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1975.
7. Серпокровлов Н.С. Исследование особенностей технологического режима микрофильтров при выделении тринтрата целлюлозы из сточных вод / Автореф дис. ... канд. техн. наук. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1980.
8. Альтшуль А.Д., Краснов Н.С. Гидравлическое сопротивление секток с квадратными ячейками / ВиСТ. – 1967. – № 9.
9. Жужиков В.А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия, 1980. – Кн. 1, 2.
10. Гальперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1981.
11. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидрохимические процессы химической технологии. – Л.: Химия, 1982.
12. Химицкий К.Ф., Химицкий Ю.К. Фильтр для очистки воды от взвеси / А.с. № 205809, Б.И. – 1968. – № 24.
13. Назаров И.А. и др. Фильтр для ДМ «Фрегат» // Гидротехника и мелиорация. – 1981. – № 7.
14. Технические условия на применение модернизированных сетчатых барабанных фильтров в технологии очистки воды поверхностных водонсточников и городских сточных вод. – М.: НИИКВОВ, 1980.
15. Каталог изделий для систем капельного орошения НПО «УкрНИИГиМ». – Киев, 1988.
16. Калеников А.Т. Совершенствование методов расчета систем капельного орошения / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – ИГИМ, Киев, 1992.
17. Снеговой В.С., Харчук Л.А., Михайлов М.Б. Эффективность капельного орошения садов и виноградников. – Кишинев: МолдНИИНТИ, 1983.
18. Журба М.Г. Микроорошение. Проблемы качества воды. – М.: Колос, 1994.

19. Каталог фирм США, Франции, Италии, выпускающих оборудование и материалы для строительства и эксплуатации систем мелиорации: Var dney Electric Co, Loyal Seperutos Co, G.T. Woods Co, Holly Filter S., Rain-Bird Filtration System и др. – 1970...1987.
20. Nakagama F.S., Buckr D.A. Trickle irrigation for Crop Production. – Am.-Oxf-New-Jork-Tokyo, 1986.
21. Irrigional Journal, 1987, Vol. 37, N6 (USA).
22. Irrigional Journal, 1988, Vol. 38, N1 (USA).
23. А.с. 762921, БИ, 1977, № 50. Установка для очистки воды от взвешенных веществ и фитопланктона / М.Г.Журба, В.П.Приходько и др.
24. Кузьмин Ю.М. Сетчатые установки систем водоснабжения: Справ. пос. – Л.: Стройиздат, 1976.

ГЛАВА 8. ГИДРОЦИКЛОННЫЕ УСТАНОВКИ

8.1. Область применения и назначение

На водозаборных узлах систем водоснабжения и орошения, на скважинах вертикального дренажа, в землесосных и пульпоподъемных установках серьезной проблемой является очистка природных вод от наносов, содержащих плотную минеральную взвесь. Эту задачу можно решить наиболее экономично с помощью специальных конструкций гидроциклонных установок. Гидроциклонные (ГЦУ) и гидроциклонно-фильтрационные установки (ГЦФУ) – высокоэффективные средства для грубой очистки воды на всасывающих и нагнетательных линиях насосов и в условиях напорно-вакуумного потока. Разработанные в последние десятилетия конструкции таких установок [1, 2, 5, 6, 8] позволяют объединить в одном гидравлическом блоке несколько технологических процессов: улавливание механических примесей (песок, илстые частицы и т.д.), сгущение пульпы, защиту рабочих органов насосов от абразии, отвод осадка и очищенной воды. Малые габариты, высокая удельная производительность таких аппаратов позволяют компактно и рационально объединять и размещать их над и под фильтрами, в отстойниках, осветлителях разных конструкций, в приемных отделениях береговых водосборных колодцев и др.

ГЦФУ рекомендуется применять для очистки:

- хозяйственно-питьевой воды (на первой ступени);
- технической воды, подаваемой на охлаждение опор (подшипников) крупных насосных агрегатов;
- технической воды, подаваемой для мойки мелиоративной, дорожной и сельскохозяйственной техники;
- поливной воды капельного орошения, мелкодисперсного дождевания и различного вида форсунок, требующих высокой степени очистки воды.

По назначению существующие гидроциклонные установки классифицируют по следующим признакам:

напорные гидроциклоны. Назначение — улавливание наносов и сгущение пульпы. Недостаток — истирание рабочих органов базового насоса и низкая эффективность очистки воды от илистых и коллоидных частиц;

вакуумные и напорно-вакуумные гидроциклоны. Назначение — улавливание наносов и отвод осадка на всасывающей линии насоса. Преимущество — предохранение рабочих органов базового насоса от абразивного износа и удлинение срока службы. Недостаток — низкая эффективность очистки воды от илистых и коллоидных частиц;

гидроциклонно-фильтрационные установки. Назначение — повышение качества фильтрата путем очистки воды в два этапа: в гидроциклоне, затем в фильтрах тонкой очистки. Преимущество — существенное возрастание качества очистки воды.

Выбор конструктивных параметров и специфика метода гидравлического расчета гидроциклонных установок зависят от назначения, требований к степени очистки, способа выноса и транспортировки осадка за пределы устройства.

В связи с широким внедрением в производство механического водоподъема на основе передвижных, плавучих и размещаемых на движущихся поливных машинах насосных станций, которые все операции водоподъема: забор, очистку, сгущение пульпы, сброс осадка и подачу осветленной воды должны производить в движении «на ходу», причем с неизменным условием защиты рабочих органов насоса от абразивного истирания, существующие способы борьбы с наносами и водоочистки (отстойный, фильтрационный), использование эффекта поперечной циркуляции и винтового движения не в полной мере решают поставленные задачи. Более эффективным и рациональным способом борьбы с наносами и водоочистки в указанных выше условиях является способ, основанный на идее использования эффекта гидроциклонного движения жидкости, особенно в условиях разрежения на всасывающей линии насоса.

Гидроциклонный способ водоочистки, объединяя все операции: стратификацию двухфазного потока, сгущение пульпы, вынос осадка и подачу осветленной воды в едином моногидроблоке или в схеме «замкнутая гидролиния», отвечает современным требованиям практики борьбы с наносами, ускоряет внедрение технологий повторного и оборотного водоснабжения, обладает широкими функциональными возможностями и может служить принципиальной гидравлической схемой (основа передвижных, плавучих, поплавковых и размещающихся на движущихся поливных машинах) комбинированных водоочистных установок и сгустителей пульпы.

8.2. Основные гидравлические и технологические закономерности водозаборно-очистных гидроциклонных установок

При тангенциальном вводе жидкости в конический корпус гидроциклона, смонтированного на нагнетательной линии насоса, из-за наличия момента количества входящей массы жидкости относительно оси камеры поток приобретает вращательное движение с образованием воздушного «шнура» вдоль своей оси. Вследствие этого происходит уменьшение живого сечения потока с коэффициентом ε . В общем случае ε зависит от значения напоров на входе $H_{вх}$, в сливе H_c , в песковом отверстии H_n , от геометрических размеров аппарата — диаметра циклона D_u , слива d_c , пескового отверстия d_n , высоты циклона H_u , от гидравлических параметров потока — расхода через слив $Q_{сл}$, через песковое отверстие Q_n , высоты песчаного завала $H_{пз}$ и физико-механических свойств жидкости — плотности ρ , вязкости μ_1 , т.е.

$$\varepsilon = f\left(\frac{H_n}{H_{вх}}, \frac{H_c}{H_{вх}}, \frac{D_u}{H_u}, \frac{d_c}{d_n}, \frac{\rho_n}{\rho_{вх}}, \frac{\mu_{1n}}{\mu_{1c}}, \frac{Q_n}{Q_{сл}}, \frac{H_{пз}}{H_u}\right). \quad (8.1)$$

Внутри гидроциклонной камеры (по осевой составляющей скорости v_z) образуются два сопряженных между собой винтообразных потока, вращающихся в одну сторону: периферийный поток, направленный в «устье» конуса, увлекающий более плотные и крупные твердые частицы, и внутренний (центральный) поток, по которому двигаются менее плотные и мелкие твердые частицы и основная масса очищенной жидкости в сторону слива. Особенностью циклонного потока является образование внутри него поверхности с нулевыми осевыми скоростями (НОС). По данным экспериментальных исследований, для гидроциклона (без заглубленного сливного патрубка) радиусы нулевых осевых скоростей r_w и воздушного шнура r_b в сечении, взятом по оси входного патрубка, приблизительно могут быть определены по следующим эмпирическим формулам

$$r_w = r_{ц} - 2,4r_{сл} = 0,4r_{ц}, \quad (8.2)$$

$$r_b = 0,6r_{сл}, \quad (8.3)$$

где $r_{ц}$, $r_{сл}$ – радиусы циклона и сливного патрубка соответственно.

В общем случае момент количества движения единицы массы в любом месте по радиусу камеры в указанном сечении выражается

$$M_r = AM_{вх} \left(\frac{r}{r_{ц}} \right)^n, \quad (8.4)$$

где A , n – коэффициенты пропорциональности.

Тангенциальная скорость (осредненная по $\varphi = 0 \dots 360^\circ$) может быть определена по формуле

$$v_\varphi = A_{вх} \left(\frac{r_{ц}}{r} \right)^{1-n}. \quad (8.5)$$

В первом приближении, приняв $A = 1$, $n = 1/3$, выражение (8.5) можно записать в виде

$$v_\varphi = v_{вх} \sqrt[3]{\left(\frac{r_{ц}}{r} \right)^2}. \quad (8.6)$$

Перепад давления по радиусу кольца циклона равен:

$$\frac{dP}{dr} = \rho \frac{v_{\phi}^2}{r}. \quad (8.7)$$

Выразив v_{ϕ}^2 через $v_{\text{вх}}$, получаем

$$\frac{dP}{dr} = A\rho v_{\text{вх}}^2 \left(\frac{r_u^2 - 2n}{r^3 - 2n} \right). \quad (8.8)$$

С учетом вышеуказанных допущений при $P = gH$ требуемый напор воды на входе в гидроциклон может быть найден из выражения

$$H_x = H_{\text{вх}} + \frac{0,75v_{\text{вх}}}{g} \left(1 - \frac{r_u}{r} \sqrt{\frac{r_u}{r}} \right). \quad (8.9)$$

Обработав опытные данные А.И. Жангарин установил следующие зависимости для вычисления осевой v_z и радиальной v_r скоростей

$$v_z = 0,3v_{\text{вх}} \left[0,8 \cdot \sqrt{\left(\frac{r_u}{r} \right)^2 - 1} \right], \quad (8.10)$$

$$v_r = v_{\text{вх}} \left(0,6 - 0,53 \frac{r}{r_u} \right). \quad (8.11)$$

Расход слива через осевую скорость определяют по формуле

$$Q_{\text{сл}} = \mu_{\text{сл}} \cdot r_{\text{сл}}^2 \sqrt{2g\Delta H_{\text{вх}}}, \quad (8.12)$$

где

$$\mu_{\text{сл}} = \frac{0,6v_{\text{вх}} \int_{r_0}^{r_w} \left[0,8 \cdot \sqrt{\left(\frac{r_u}{r} \right)^2 - 1} \right] r dr}{\sqrt{2g\Delta H_{\text{вх}}}}. \quad (8.13)$$

Для гидроциклонов с $D_u = 400$ мм, $H_u = 720$ мм, $d_{\text{вх}} = d_{\text{сл}} = 50, 80, 100$ мм; $d_n = 10, 20$ мм; $\Delta H_{\text{вх}} = 4$ м по

данным [2], $\mu_{\text{сл}} = 0,22 \dots 0,27$. Расход воды через песковое отверстие определяется формулой

$$Q_{\text{п}} = \mu_{\text{ц}} \omega_{\text{ц}} \sqrt{2g(\Delta H_{\text{вх}} - H_{\text{з}})}, \quad (8.14)$$

где $\mu_{\text{п}} = 0,54 \dots 0,12$ при $H_{\text{вх}} = 0,6 \dots 4$ м и указанных выше конструктивных размерах циклонов.

Крупность граничного зерна δ , задерживаемого в гидроциклоне напорного типа для $D_{\text{ц}} = 150 \dots 450$ мм при $v_{\text{ф}} = 0,8v_{\text{вх}}$ может быть найдена в первом приближении по формуле:

$$\delta = \sqrt{\frac{5\mu_1 R_{\text{ц}}}{v_{\text{вх}}(\rho_s - \rho_0)}}, \quad (8.15)$$

где μ_1 — динамическая вязкость жидкости; $R_{\text{ц}}$ — радиус цилиндрической части камеры циклона; $v_{\text{вх}}$ — скорость входа воды в циклон; ρ_s, ρ_0 — соответственно плотности твердой частицы и воды.

В вакуум-гидроциклонных установках изменение эпюр давления отличается от таковых в напорных гидроциклонах (рис. 8.1). Разрежение, создаваемое в следствие вакууммет-

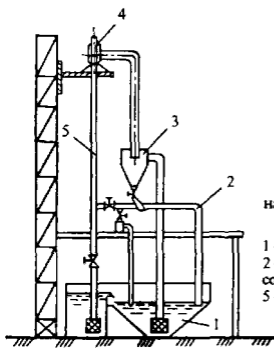


Рис. 8.1. Вакуум-гидроциклонная установка на всасывающем трубопроводе насоса:

- 1 — аванкамера на водисточнике;
- 2 — всасывающий трубопровод насоса;
- 3 — гидроциклон;
- 4 — насос;
- 5 — напорный трубопровод насоса

рической высоты всасывания насосов, сопряженных со сливным патрубком гидроциклона, возрастает от периферии к центру. Вакуумметрическая высота всасывания в этом случае должна быть согласно уравнению Бернулли не менее

$$h_v \geq \frac{P_a - P_n}{\gamma} = z_n - \frac{\alpha v_n^2}{2g} + \Sigma \varphi \frac{\alpha v_{вг}^2}{2g}, \quad (8.16)$$

где P_a, P_n — давление в радиальном и продольном направлениях; $v_n, v_{вг}$ — скорости движения воды в насосе и на входе в гидроциклон.

Эффективность режима работы вакуум-гидроциклона, под которой подразумевают извлечение из воды плотных частиц взвеси, степень сгущения осадка и условие отвода его через песковое отверстие, зависит от отношения напора аппарата H_n к вакууму в «устье» вакуум-гидроциклона, создаваемого базовым насосом [2]:

$$\kappa = \frac{H_n}{H_v} = 1,2 - 2. \quad (8.17)$$

Расход воды через слив вакуум-гидроциклона вычисляют из уравнения Бернулли, составленного для сечения, взятого перед входом в насос, и сечения на уровне горизонта воды в водоисточнике. При определенных эмпирически значениях коэффициента расхода $\varepsilon = 0,6$, площади сливного патрубка, равного площади входного патрубка насоса $\omega_{сл} \approx \omega_{вн}$, коэффициента местных потерь напора на линии всасывания $\Sigma \xi = 80 \dots 90$ расход через слив может быть определен по формуле

$$Q_{с.вг} = \varphi \varepsilon \omega_{сл} \sqrt{2g \left(H_v \pm z_n - \Sigma \xi \frac{v_{вг}^2}{2g} \right)}, \quad (8.18)$$

где $\pm z_n$ — положительная или отрицательная высота размещения насоса; $\Sigma \xi \frac{v_{вг}^2}{2g}$ — сумма потерь напора на линии всасывания; H_v — высота всасывания.

При использовании в качестве базового насоса ЭЦВ в гидроциклонно-элеваторной установке, в которой рабо-

чим насадком гидроэлеватора служит нагнетательный патрубок насоса H_p , значение вакуума на стенке гидроциклона в сечении A может быть найдено по формуле

$$H_p = H_V - 0,8 \frac{v_{вр}^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{r_u}{r} \right)^{(1...1,5)} \right]. \quad (8.19)$$

В напорно-вакуумных гидроциклонных установках, состоящих из единого гидравлического комплекса, включающего в себя моногидроблок и замкнутую систему трубопроводов с насадками, в вакуумной части осуществляют забор осветленной части жидкости и осаждение наносов, а в напорной — сгущение осадка. Эжектирование осадка из вакуумной секции и подачу его в напорную часть производят вихревым гидроэлеватором, размещенным тангенциально между ними. Расход воды через водослив такой установки находят по формуле

$$Q_{сл} = 1,57 r_{сл}^2 \sqrt{2g \left(h_V - z_n - \sum \xi \frac{v_{вх}^2}{2g} \right)}, \quad (8.20)$$

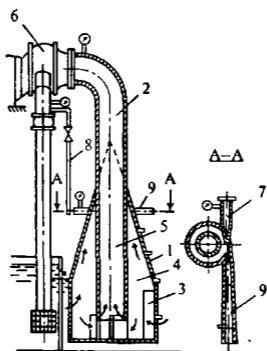
где $h_V < h_V^{мак}$ — вакуумметрическая высота всасывания, $\sum \xi = 26$.

Как и для вакуум-гидроциклона, в моноблочном гидроциклоне-сгустителе основным показателем, характеризующим эффективность его работы, является критерий $\kappa = H_n/H_V = 1,2 - 2$.

8.3. Гидроциклонные установки с вакуумным и напорно-вакуумным режимом работы

В зависимости от назначения и условий работы вакуум-гидроциклоны могут быть установлены на оголовках перед всасывающим патрубком насоса и на середине всасывающей трубы. На рис. 8.2 а, б показаны конструкции таких установок, смонтированных на оголовке всасывающей трубы насоса. В установке, представляющей собой

а)



б)

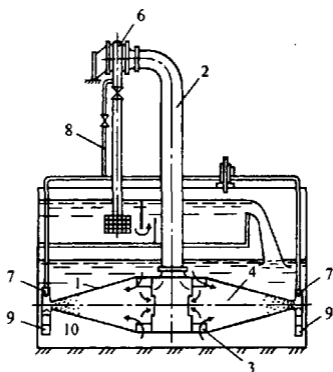


Рис. 8.2. Моноблочная ГЦУ

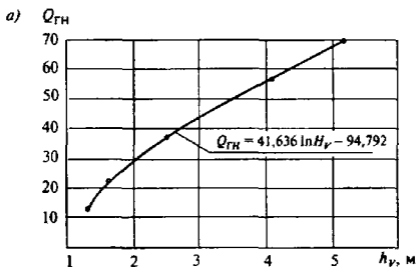
а) — с односторонним гидроциклоном-оголовком на всасывающем трубопроводе насоса; б) — с двухсторонним (двухкорпусным) гидроциклоном-оголовком

моноблок вакуум-циклона 1 с оголовком на всасывающем трубопроводе насоса 2, вода за счет вакуума поступает тангенциально по отверстию 3 в циклонную камеру 4, освобождается там от наносов вследствие центробежных сил и через сливной патрубок 5 насоса поступает к насосу 6. Задержанный в камере песок и плотные наносы минеральной взвеси собираются в конической камере циклона, откуда с помощью гидроэлеватора 7, питаемого водой от напорного патрубка насоса с помощью трубки 8, через песковое отверстие 9 выбрасываются на береговую песковую дренажную площадку. Напорно-расходные характеристики установки с диаметром циклона $D_{\text{ц}} = 600$ мм приведены на рис. 8.3.

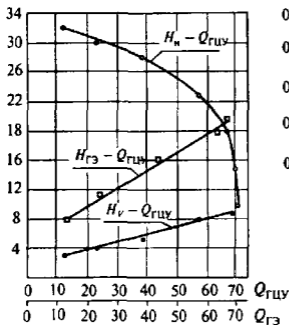
При небольших глубинах воды в местах расположения водозаборов и целесообразности транспортировки задержанных в гидроциклонных камерах наносов по течению воды в русле реки или канала могут быть применены полностью затопленные двухкамерные установки конструкции А.И. Жангарина [1]. Их отличие от вертикально расположенной установки состоит в наличии общей для двух циклонов сливной камеры, принимающей очищенную воду от горизонтально расположенных над дном водотока вакуумных гидроциклонов и являющейся одновременно оголовком всасывающей линии насосов. При достаточной высоте всасывания насосов входные отверстия в таких установках могут перекрываться сетками для предотвращения попадания внутрь циклонной камеры плавающих листьев, травы, водорослей. При высоте всасывания (перепада вакуума) в установке до 5 расход воды из двух камер достигает 60...70 л/с (см. рис. 8.2 б).

На объектах сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ гидроциклонные установки применяются как:

- устройства, обеспечивающие безнаносный водозабор на насосных станциях первого (вакуумные гидроциклонные установки) и второго (гидроциклонные установки напорно-вакуумного режима работы) подъемов групповых водопроводов;



б) $H_N, H_{ГЭ}, \text{ м}$



в) μ

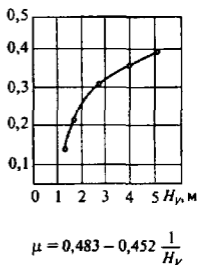


Рис. 8.3. Напорно-расходные характеристики ГЦВУ:

a - $Q_{ГЦУ} = f(h_V)$; б - $H_N - Q_{ГЦУ}$; $H_N - Q_{ГЭ}$, $H_V - Q_{ГЦУ}$; в - $\mu = f(H_V)$

- устройства для стратификации потока на всасывающей линии гидроэлеватора на базе погружных насосов сельскохозяйственного водоснабжения;
- сгустители пульпы в составе водоподъемных установок с замкнутой гидротехнологической линией.

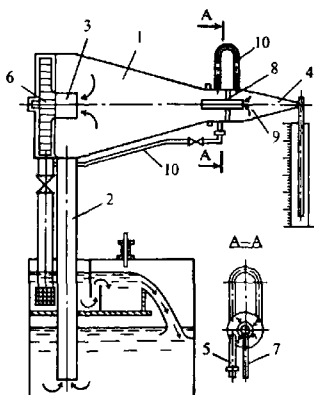


Рис. 8.4. Гидроциклонная камера напорно-вакуумного режима:

1 – вакуумная часть гидроциклона; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – отвод осветленной воды; 4 – песковое отверстие; 5 – гидроэлеватор; 6 – насос; 7 – пульпопроводящий патрубок; 8 – перегородка; 9 – напорная камера; 10 – питающий патрубок от насоса

Напорно-вакуумный режим в гидроциклоне создается, если:

- гидроциклонная камера по длине разделена перегородкой на две части, одна из которых является вакуумной, а другая – напорной;
- гидроциклон установлен между всасывающей и нагнетательной трубами насоса, снабженного гидроэлеватором.

В первом случае между вакуумкамерой и напорной частью устанавливают вихревой гидроэлеватор, соединенный с нагнетательным патрубком базового насоса. На рис. 8.4 показан общий вид установок с гидроциклонной

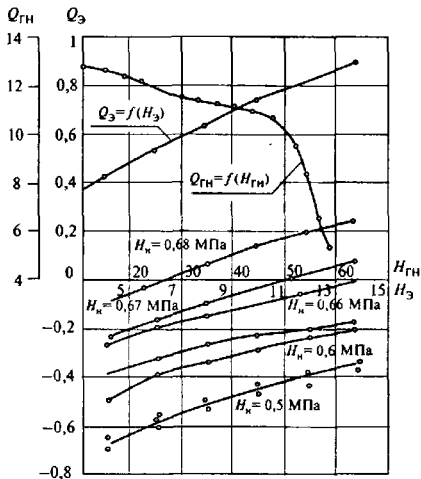


Рис. 8.5. Гидравлические характеристики основных потоков в напорно-вакуумной ГЦУ

камерой напорно-вакуумного режима, а на рис. 8.5 – закономерности изменения основных гидравлических характеристик потока при этом режиме. Свободный выход осадка из пескового отверстия сгустителя (напорной части) возможен, если значение критерия эффективности

$$G_a = \frac{H_n}{H_v} = 1,2 \dots 2. \quad (8.21)$$

Характерная особенность вакуумной части гидроциклона – увеличение (углубление) вакуума по мере уменьшения радиуса вращения, тогда как в напорной части (и в напорных гидроциклонах) давление по мере уменьшения ради-

уса вращения понижается. В напорно-вакуумных гидроциклонах, если правильно установлены гидравлические параметры потока (H и H_V), можно через песковое отверстие вывести пульпу с содержанием воды только в порах грунта, т.е. с плотностью γ_n в пределе стремящемся $\gamma - (\gamma_T + \varepsilon\gamma)$, где γ — плотность воды; γ_T — плотность сухого грунта с пористостью ε .

Гидроциклонная установка может быть выполнена поплавокной и плавучей, причем как с одной, так и с двумя камерами, и установлена горизонтально, наклонно и вертикально, с песковым отверстием вниз и вверх. Изменение оси гидроциклона относительно горизонта существенно не влияет на эффективность очистки, а производительность гидроциклона несколько повышается, если он установлен горизонтально (рис. 8.6).

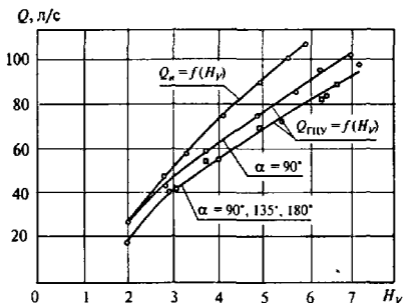


Рис. 8.6. Напорно-расходные характеристики ВГЦУ в зависимости от угла наклона ее продольной оси к горизонту

В вакуумно-напорных установках (см. рис. 8.4) вода из водоисточника по входной трубе 2 поступает за счет вакуума тангенциально в цилиндрическую часть камеры 1, являющейся одновременно оголовком на всасывающей тру-

бе насоса 6. Отбрасываемый вследствие центробежных вакуумметрических сил осадок собирается над глухой круговой перегородкой 8, отделяющей вакуумметрическую камеру 1 от напорной 9. Благодаря трубке 10 часть воды от напорного трубопровода насоса 6 питает встроенный в нижней части гидроэлеватор, захватывающий осадок из наносов, и подает его в напорную часть моноблока через камеру смешения. В результате повторного тангенциального движения воды в напорной сгустительной камере 9 установки осадок дополнительно сгущается и через песковое отверстие 4 выводится на береговую площадку складирования и обезвоживания. Осветленная часть воды из камеры 9 через сливной патрубок поступает в вакуумную камеру, смешивается с осветленной в ней водой и за счет вакуума поступает во всасывающий тракт насоса. Напорно-расходные характеристики такой установки $D_u = 300$ мм со сгустителем приведены на рис. 8.5.

Гидроциклоны, применяемые для борьбы с наносами в системах мелиорации, орошения и сельскохозяйственного водоснабжения, в зависимости от назначения и месторасположения в технологической схеме производства работ могут иметь размеры в диаметре (основной габарит гидроциклона) от 30 до 3000 мм. Мини-гидроциклоны размещают внутри трубы или располагают по периметру лопаточного отвода, поэтому размеры их ограничены и зависят от параметров и технических характеристик системы «скважина – погружной насос». Для повышения производительности увеличивают количество мини-гидроциклонов и располагают их по периметру трубчатой вставки или лопаточного отвода.

Гидроциклоны большого диаметра размещают в потоке воды, они не имеют пространственных ограничений, а основные размеры устанавливают с расчетом, исходя из заданной производительности. ГЦУ и ГЦФУ – конгломерация на базе центробежного насоса, гидроциклонной камеры (напорной, напорно-вакуумной или вакуумной в зависимости от назначения), камеры сгущения, гидроэлеватора и фильтра тонкой очистки – многофункциональны и удобны в эксплуатации.

Для установления соотношений основных параметров циклонной камеры и струйного аппарата в первом приближении принимают, что выходной диаметр сливного патрубка циклонной камеры $d_{\text{сл}}$ равняется диаметру всасывающего патрубка насоса $d_{\text{вс}}$, т.е. $d_{\text{сл}} = d_{\text{вс}}$. Тогда соотношения других параметров могут быть приняты в следующих пределах:

- диаметр входного патрубка циклона $d_{\text{вх}} = (1...2)d_{\text{сл}}$;
- диаметр циклона $d_{\text{ц}} = (3,5...4,5)d_{\text{сл}}$;
- общая высота циклона $T = (2...2,5)d_{\text{ц}}$;
- цилиндрическая часть циклона $T_{\text{ц}} = (1...2)d_{\text{вх}}$;
- диаметр пескового отверстия $d_{\text{п}} = (0,1...0,25)d_{\text{вх}}$;
- угол конусности циклона $\beta = 20...30^\circ$;
- диаметр рабочего сопла струйного аппарата $d_{\text{с}} = (0,4...0,5)d_{\text{п}}$;
- диаметр камеры смещения аппарата $d_{\text{к.с}} = d_{\text{п}}$;
- длина камеры смещения $l_{\text{к.с}} = (6...9)d_{\text{к.с}}$.

При назначении диаметров пескового отверстия, камеры сгущения и камеры смещения надо учитывать то обстоятельство, что они должны обеспечить выход одновременно нескольких фракций наносов наибольшей крупности, поэтому должно соблюдаться также условие

$$d_{\text{п}} = (4...8)\delta, \quad (8.22)$$

где δ – наибольший диаметр фракции.

Входные патрубки подводных циклонов рекомендуется выполнять прямоугольного сечения, принимая следующие соотношения параметров:

$$h = T_{\text{ц}}(3...4)b = (1...2)d_{\text{вх}}, \quad (8.23)$$

где h – высота щели; b – ширина щели.

Тогда из условия равенства площадей сливного и входного патрубков ($d_{\text{сл}} = d_{\text{вх}}$) $b = (0,4...0,8)d_{\text{вх}}$.

Для упрощения конструкции и увеличения производительности сливной патрубков подводных циклонов может быть образован размещением внутри цилиндрической камеры кольцевой струенаправляющей полки, обеспечи-

вающей отклонение осветленной части жидкости в сторону насоса. Ширина полки может быть принята

$$b_{II} = (1,5 \dots 2,5)b. \quad (8.24)$$

Для увеличения производительности внутри цилиндрической части циклона устанавливается также струенаправляющий аппарат.

Одним из основных элементов, обеспечивающих нормальную работу ГЦУ, является гидроэлеватор, встраиваемый в «устье» конуса. Рекомендуются три конструкции гидроэлеватора: вихревой, прямоточный и кольцевой. Прямоточный и кольцевой гидроэлеваторы рекомендуется применять, когда перед песковым отверстием циклона исходя из технологической схемы производства работ возникает необходимость в создании песчаной «подушки», а вихревой — в случае, когда перед песковым отверстием нет скопления наносов и вытекающая из него струя жидкости, не изменяя направления своего вращения, транзитом выносится из камеры.

8.4. Напорные гидроциклонные установки

Для очистки поверхностных вод могут быть использованы:

- блочные конструкции гидроциклонов диаметром 40, 50, 75, 80 мм, разработанные Дзержинским филиалом НИИХИММАШ, включающие от 4 до 12 аппаратов производительностью 20...150 м³/ч, изготовленные из нержавеющей стали или пластмасс с давлением питания до 0,6 МПа;
- мультигидроциклоны, разработанные ЦКТИ, включающие 52 единичных аппарата диаметром 30 мм с производительностью 50 м³/ч при давлении питания 0,3 МПа, изготовленные из стали;
- напорные конструкции гидроциклонов диаметром 75 и 150 мм из полиуретана, разработанные институтом «Механобр»;

- гидроциклоны проблемной лаборатории ГИСИ, разработанные совместно с Дзержинским филиалом НИИХИММАШ, диаметром 25, 40, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500 мм, изготавливают из нержавеющей стали или пластмасс (диаметр аппаратов до 100 мм), и сборные конструкции диаметром более 100 мм – корпус аппарата из нержавеющей стали, рабочую камеру монтируют из съемных стальных и пластмассовых элементов.

В настоящее время при содержании в воде отдельных твердых частиц используют гидроциклоны высокого и низкого давления, устанавливаемые на нагнетательной линии насоса. Первые из них способны отделять частицы минерального происхождения весьма малых размеров. Вторые, работающие под давлением 0,4...2 м вод. ст. на входе, улавливают частицы диаметром 0,05 мм и более. При содержании в воде большого количества примесей минерального происхождения перспективны гидроциклоны на всасывающей линии насоса. При этом вместе с осветлением воды предохраняются дорогостоящие рабочие органы насоса от истирания твердыми частицами.

Исследованиями Г.Д. Павлова, А.М. Фоминых, В.Г. Барского, Е.Ф. Кургаева, В.Г. Гаджиева и других, проведенными на различных водоемах с использованием напорных гидроциклонов диаметром от 15 до 250 мм, установлено, что эффект осветления речной воды при концентрации взвешенных плотных веществ в исходной воде порядка 0,5...7 г/л колеблется в пределах 35...95 %.

В зарубежной практике очистки оросительной воды для систем микроорошения используют, в основном гидроциклоны Лаваля, выпускаемые фирмами «Laval», «Netafim» [11, 35]. Гидроциклоны этих конструкций устанавливают на нагнетательных линиях насосной станции. По специальным заказам фирмы выдают рекомендации по установке гидроциклонов на всасывающих линиях насосов. На рис. 8.7 показаны схемы гидроциклонов различных конструкций. Гид-

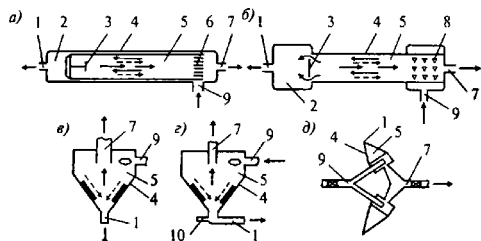


Рис. 8.7. Гидроциклоны для очистки оросительной воды в системах микроорошения:

а) — фирмы «Laval» со струенаправляющими лопатками; б) — фирмы «Laval» со струенаправляющими отверстиями; в) — низкого давления; г) — с эжектором для принудительного отвода шлама; д) — двухкамерный; 1 — патрубок отвода шлама; 2 — шламовая камера; 3 — разделительная пластина; 4 — корпус гидроциклона; 5 — циклонная камера; 6 — струенаправляющие лопатки; 7 — патрубок отвода осветленной воды; 8 — струенаправляющие отверстия; 9 — патрубок подачи воды на очистку; 10 — эжектор; —> — движение осветляемой воды; - - > — движение шлама

роциклоны фирмы «Laval» выполнены с металлическим цельносварным корпусом с внутренним антикоррозионным покрытием.

Фирма выпускает несколько разновидностей гидроциклонов, различающихся: по конструкции входной камеры — струенаправляющие отверстия или лопатки; габаритным размерам; положению установки — вертикальное или наклонное; способу сбора шлама — непрерывный, периодический с ручным открытием сбросного клапана, периодический с автоматическим открытием сбросного клапана. При производительности одного гидроциклона от 0,68 до 17 м³/ч диаметр циклонной камеры составляет 60...127 мм, высота циклонной камеры — 299...660 мм, общая высота гидроциклона — 508...914 мм. Фирма выпускает подобные гидроциклоны и большей производительности. При необходимости по-

лучения повышенной степени очистки применяют так называемые супергидроциклоны Лавала, которые представляют собой последовательно соединенные гидроциклоны. По требованию заказчика гидроциклоны оборудуют системой автоматического сброса шлама, которая через определенные промежутки опорожняет шламовую камеру.

В технических условиях на зарубежные циклоны указано, что они эффективны для удаления частиц минерального происхождения с размером крупнее 75 мкм, но мало пригодны для удаления большинства органических примесей. Гидроциклоны низкого давления представляют собой напорную металлическую цилиндрикоконическую емкость с тангенциально расположенным патрубком для подачи исходной воды. Вследствие того, что используемые при работе таких гидроциклонов напоры значительно ниже, чем у гидроциклонов высокого давления, их удельная материалоемкость намного ниже.

При установке гидроциклонов на нагнетательных линиях насосов иногда их оборудуют системой принудительного удаления шлама. Разновидностью гидроциклонов высокого давления являются двухкамерные гидроциклоны. Следует отметить, что параллельное подключение гидроциклонов, так же как и других технических средств очистки воды, широко применяют в практике водоочистки, так как это позволяет уменьшить количество запорно-регулирующей арматуры и упростить эксплуатацию. Эффективность очистки воды на гидроциклонах определяется многими факторами, в частности дисперсностью удаляемой из воды взвеси, ее плотностью, конструктивными размерами элементов гидроциклона, значением создаваемого на нем перепада давления и др. Технологические показатели работы гидроциклонов различных конструкций на природных водах представлены в табл. 8.1 и на рис. 8.8.

Таким образом, улучшение эффекта очистки в гидроциклонах достигается при уменьшении диаметра

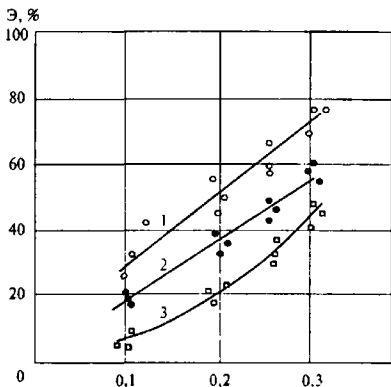


Рис. 8.8. Зависимость эффекта очистки воды на микроциклоне от гидравлической нагрузки и содержания взвешенных веществ в исходной воде (C_0 , г/см³):

1 - $C_0 > 5$ г/см³; 2 - $C_0 = 2,5$ г/см³; 3 - $C_0 < 2,5-1,0$ г/см³

циклоиной камеры, увеличении перепада давления и повышении содержания, плотности и крупности взвешенных частиц в очищаемой воде. Применение гидроциклонов для очистки воды в системах микроорошения целесообразно для удаления из воды взвесей минерального происхождения с плотностью частиц, превышающей плотность воды, и диаметром частиц взвеси более 75...50 мкм. Наибольший эффект очистки достигается на гидроциклонах малого диаметра — микроциклонах. Следует отметить, что из-за необходимости создания больших перепадов давления с целью обеспечения эффективности работы микроциклонов потери напора в них достигают значительной величины (0,1...0,2 МПа).

Таблица 8.1

Технологические показатели работы гидрониклонов различных конструкций на природных водах

Тип гидрониклонов и место проведения исследования	Диаметр, мм	Производительность, м ³ /ч	Давление на входе, МПа	Крупность взвеси средняя, мкм	Содержание взвеси, мг/л, в воде		Эффект осветления, %	Автор исследования
					исходной	осветленной		
Конический напорный циклон: р. Кура, Узбекистан	75	2,3 4,25	0,1 0,15 0,2 0,25	10...20 10...20	864 1060 1096 1221	562 540 496 488	25 49 55 60	В.Г. Барский
Напорные конструкции А.М.Фоминных, А.И.Поварова «Дейнор»; р. Кура, Узбекистан, Якутия, р. Лена	50 100 150 150 200 300	5,83 12 35,7 35,7 52,3 129	0,05...0,2	12,3 21 21,4 22,6 32,2 29,1 29,9 41,1 42,1	1000 1000 4000 1000 4000 1000 4000 1000 4000	350 480 1600 520 2120 620 2480 720 2920	65 52 51 48 47 38 38 28 27	В.Г. Галжиев

Продолжение таблицы 8.1

Тип гидроциклонов и место проведения исследований	Диаметр, мм	Производительность, м ³ /ч	Давление на входе, МПа	Крупность взвеси средняя, мм	Содержание взвеси, мг/л, в воде		Эффект осветления, %	Автор исследования
					исходной	осветленной		
Напорные конструкции А.М. Фоминых, р. Иня, Новосибирск	50	3,5	0,2	10,5	1750	525	69	Т.К. Нагуманов
				10,8	1170	440	62	
				10,5	575	220	60	
				10	260	102	57	
Двухкамерный напорный КазНИИВХ;	200	98	0,2	100...50	7000	220	97	С.Т. Алпысбаев
				Песок	7000	310	96	
оросительная вода Джамбульской обл.		120	0,3					
Цилиндрический УкрНИИОС ФЦ-02, подземная вода с песком	100	43,2	0,2...0,6	100...500	5000	2500	50	А.А. Горошенко, В.Н. Джулай



Рис. 8.10. Сетчатые фильтры и гидроциклоны при промышленных испытаниях на оросительном канале в Крыму:

а) – вертикальный сетчатый фильтр ФСС-6К ПТБ «Водстрой-индустрия»; *б)* – горизонтальный сетчатый фильтр ФК Укргил-роводхоза; *в)* – фильтр сетчатый ФНС-90 и гидроциклон ФЦ 50А конструкции УкрНИИОС; *з)* – блок микроциклонов в установке «Компакт-2» ЦНИИКИВРа

Испытания комбинированных сетчатых и гидроциклонных установок конструкции УкрНИИОС марок ФНС-60, ФИС-90, ФЦ-50 и ФЦ-М, проведенные ПКО ГСКБ по орошению НПО «Радуга» в 1980 г. на воде оросительного канала в Молдове (рис. 8.9), показали, что при рекомендуемых разработчиками производительностях, размерах ячеек сетчатого полотна, равных $0,25 \times 0,25$ мм, и конструктивных особенностях этих аппаратов определенного эффекта очистки воды на них можно достичь

лишь применительно к весьма грубодисперсным примесям (табл. 8.2).

Таблица 8.2.

Результаты испытаний опытных образцов
водоочистных установок отечественных конструкций

Тип устройства	Производительность, м ³ /ч	Эффект очистки по взвешенным веществам (%) при C_0 , мг/л		Продолжительность фильтроцикла, ч	Потери напора за фильтроцикл, МПа	Масса фильтра, кг
		500...1000	250...500			
ФСС-6	35	36,6	18,3	4	0,05	80
ФСС-6К	34	27,4	33,6	4	0,05	80
ФНС-90	73	7,4	7,2	4	0,05	110
ФЦ-50А	52	2,7	10	Непрерывная	0,10	75
ФК	102	33	34,5	0,17	0,08	120

Такого типа установки могут выполнять лишь роль соросудерживающих решеток водозаборных сооружений и задерживать грубые плавающие предметы (листья, щепки) или песок крупнее 0,25...0,3 мм. Повышение их эффективности возможно лишь с применением сетчатых полотен с размером ячеек не более 0,05...0,1 мм и улучшением в гидроциклонах гидродинамических условий закрутки потока в центробежном поле.

Обобщение результатов испытаний гидроциклонов различных конструкций на природных водах показало, что гидроциклоны эффективны лишь при разделении фаз на оросительных водах с концентрацией взвешенных веществ 800...1000 мг/л и более. Эффективность работы гидроциклонов повышается при увеличении крупности взвеси и ее плотности, а также при уменьшении внутреннего диаметра гидроциклона (см. рис. 8.7).

8.5. Комбинированные водозаборно-очистные устройства на базе гидроциклонов в системах мелиорации и сельскохозяйственного водоснабжения

К этому классу устройств в первую очередь относятся блочные, комплексного назначения установки, разработанные и внедренные в системах мелиорации и водоснабжения А.И. Жангариним и его сотрудниками [1, 2]. По месту расположения и комплектации с другими техническими средствами очистки воды из открытых источников ими созданы:

- русловые вакуум-гидроциклонные установки, включая плавучие, в компактном исполнении;
- береговые и русловые установки, совмещенные с сетчатым мусороподъемником и донно-решетчатыми галереями;
- установки передвижных насосных станций;
- гидроциклонные установки с фильтрующими устройствами;
- установки крупных насосных станций для очистки технической воды для охлаждения электродвигателей.

В системе орошения гидроциклонные и гидроциклонно-фильтрационные установки применяют для очистки воды, подаваемой на поля орошения, в систему охлаждения электродвигателей крупных насосных станций и для хозяйственных нужд. Основные типы ГЦУ и ГЦФУ для применения в системах орошения могут быть стационарно-береговыми и русловыми, плавучими и передвижными. Для отвода пульпы применяют способ экранирования внешнего потока, гидроэлеватор, эффект силы тяжести и вакуума на всасывающей линии насоса. Большое значение при орошении имеет не только количество, но и качество оросительной воды, влияющей на почву и растения, а также действующей на каналы и сооружения оросительной системы. Наносы, состоящие из частиц крупнее 0,1 мм, особенно крупнее 0,15 мм, вредны, так как они

легко отлагаются в оросительных каналах. Наносы с диаметром частиц 0,1...0,005 мм могут положительно влиять на физическое свойство почвы, уменьшая ее связность.

Наряду с поливными водами ирригационные наносы образуют ту самую массу, которая является субстратом для поселения растений и развития корневых систем. Следовательно, разработка и внедрение на оросительных системах многофункциональных водоочистных устройств, которые способны вместе с улавливанием механических примесей производить отделение песчаных фракций от пылеватых и илистых частиц, имеют важное народнохозяйственное значение.

Гидроциклоны могут быть легко сопряжены с водозаборными сооружениями и закрытыми оросительными трубопроводами, установлены на стационарных, передвижных и размещаемых на движущихся поливных машинах (ДДА, ДДУ, «Фрегат», «Кубань» и т.д.) насосных установках. В гидроциклонах осаждаются частицы крупнее 0,07 мм, а мелкие вместе с основной массой жидкости направляются на поля орошения. Этим объясняется еще одно преимущество гидроциклонов по сравнению с другими наносоулавливающими устройствами.

Гидроциклонные установки и гидроэлеваторы с гидроциклонной камерой и фильтрующим кожухом (ГЦФУ), агрегатируемым с погружным наносом типа ЭЦВ, успешно могут быть применены в скважинах вертикального дренажа. Они относятся к третьему поколению гидроциклонов и предназначены для повышения качества очистки воды. ГЦФУ разработаны в двух вариантах: как самостоятельные стационарные, передвижные, плавучие и поплавковые установки, располагаемые на земле, на берегу реки или канала, вдоль водопровода и т.п., и как русловые, сопряженные с сооружениями насосной станции. ГЦФУ включает три основные части: гидроциклон, фильтроотстойник с фильтрующей загрузкой из местных гравийно-песчаных материалов и устройство для отвода осадка, например гидроэлеватор на самостоятельных ГЦФУ и пульпосбросная труба, соединенная с оголовком всасывающей трубы насосного агрегата, на русловых ГЦФУ.

Очистку воды в ГЦФУ производят в две стадии: в начале в гидроциклоне улавливают песчаные частицы, а затем слив гидроциклона процеживают через фильтры тонкой очистки, уложенные по периметру или на дне фильтроотстойника. На самостоятельных ГЦФУ осадок гидроциклона эжектируют гидроэлеватором, а на русловых ГЦФУ пульпу сбрасывают самотеком обратно во всасывающую трубу насосного агрегата. Фильтрующую загрузку на ГЦФУ промывают автоматически путем повышения горизонта воды в фильтроотстойнике и создания обратного тока воды, обеспечивающего вынос кольятантов из фильтрующего слоя. Простотой конструкции, высокой эффективностью, экономичностью, гибкостью в эксплуатации и упрощенной промывной системой отличаются ГЦФУ, сопряженные со зданием насосной станции. Осадок гидроциклона и продукты промыва в указанных ГЦФУ сбрасываются непосредственно во всасывающие трубы насосных агрегатов, что позволяет предотвратить образование песчаных завалов в аванкамере. Воду для промыва фильтрующей загрузки подают из нагнетательной линии насосных агрегатов, предварительно очистив ее в напорных гидроциклонах, установленных на водоподводящих линиях, проведенных с обоих берегов (сторон) аванкамеры.

Размеры поплавкового фильтроотстойника, сопряженного со зданием насосной станции, в зависимости от расхода воды на хозяйственные и технические нужды, назначают в следующих пределах: ширина 1...2 м, глубина 1...1,5 м, а длину принимают по ширине аванкамеры. Высоту фильтрующей части стенок и дна отстойника, состав фильтрующей загрузки, а также отметку промывного горизонта воды в отстойнике устанавливают на местах исходя из эксплуатационного режима работы аванкамеры. Для забора осветленной воды из фильтроотстойника и подачи ее на технические и хозяйственно-питьевые нужды насосной станции и прилегающих к ней сельскохозяйственных населенных пунктов и предприятий могут быть использованы центробежные насосы типов «К» и «ЭЦВ».

Литература к гл. 8

1. **Жангарин А.И.** Интенсивная технология водоочистки и водосберегающие манометрические и вакуумные гидроциклонные и гидроциклонно-фильтрационные установки // Методические указания. – Алма-Ата, КазНИИВХ, 1986.
2. **Жангарин А.И.** Интенсивные гидроциклонные технологии очистки воды от наносов в мелнорации и водном хозяйстве / Дис. ... д-ра техн. наук. – М.: ВНИИТМ, 1988.
3. **Журба М.Г.** Микроорошение. Проблемы качества воды. – М.: Колос, 1994.
4. Проспект фирмы Laval Separator Corporation. – Франция, 1985.
5. **Гидроциклоны, гидроциклонные водозаборы и песколовки, водоподъемные установки с гидроциклонной камерой** / Национальный комитет по ирригации и дренажу. Проспект. – М., 1975.
6. **Исследование и промышленное применение гидроциклонов** // Тез. докл. / Симпозиум. – Горький, 1981.
7. **Найденко В.В., Кулакова А.П., Шеренков И.А.** Оптимизация процессов очистки природных и сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984.
8. **Иваненко А.И.** Применение гидроциклонов для очистки сточных вод заводов железобетонных изделий // В кн.: Процессы и сооружения для разделения взвесей при очистке природных и сточных вод. – МДНТП, 1980.
9. **Адельшин А.Б.** Энергия потока в процессах интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. – Казань: КазГАСА, 1996.

ГЛАВА 9. СООРУЖЕНИЯ И УСТРОЙСТВА С ПЛАВАЮЩИМ ФИЛЬТРУЮЩИМ СЛОЕМ

9.1. Область применения и преимущества плавающих загрузок

Применение плавающих полимерных гранульных загрузок с плотностью, меньшей плотности воды, открыло новые перспективы в совершенствовании и интенсификации работы зернистых фильтров. Плавающая загрузка в работе не имеет непосредственного контакта с нижней дренажной системой сбора и отвода промывной воды. Это позволяет отказаться от применения в фильтрующих оголовках и фильтрах дренажа большого сопротивления и специальных промывных насосов, уменьшить материалоемкость сборно-распределительных систем и рационально использовать весь располагаемый напор над коллектором отвода промывной воды [1...3].

Расходы на доставку пенополистирольной загрузки к объектам сокращаются в 15–25 раз по сравнению с тяжелыми грузами; из 1 т исходного сырья на месте применения можно получить более 15 м³ загрузки, готовой к применению. В отличие от промывки тяжелых фильтрующих материалов вектор силы тяжести задержанных в порах загрузки загрязнений совпадает с вектором движения промывного потока, поскольку промывка плавающей загрузки осуществляется сверху вниз водой из надфильтрового пространства, повышая эффективность отмывки загрузки и сокращая ее продолжительность.

Технико-экономические расчеты и анализ конкретных условий применения плавающих гранульно-волоконистых полимерных загрузок подтвердили целесообразность

ность их использования в компактных установках заводского изготовления, на водозаборных узлах и станциях водоочистки. Особенно перспективны они там, где отсутствуют сырьевые базы более дешевых фильтрующих материалов из керамзита, горелых пород, вулканических шлаков и др.

9.2. Фильтрующие материалы и их свойства

К категории плавающих фильтрующих зернистых загрузок относятся гранулы или зерна с замкнуто-ячеистыми порами диаметром 0,3...12 мм, а также полимерные волокна с плотностью, меньшей плотности воды, способные пребывать в затопленном водой состоянии неограниченное время. Наиболее приемлемыми для практики являются вспененные гранулы полистирола марок ПСВ и ПСВ-С (ранее обозначались ПСБ и ПСБ-С), а также их модификации. В качестве плавающих загрузок можно применять и гранулированный стеклопор, дробленые пенополиуретан и пенопропилен, фторопласт, капрон, полиэтилен и другие легкие полимерные материалы.

В России синтез суспензионного полистирола впервые осуществило ОНПО «Пластполимер» (1958 г.). За рубежом аналогичный метод получения вспенивающегося полистирола разработан в начале 50-х годов в Германии, Англии, США. Сырье для приготовления плавающих загрузок получают полимеризацией капель мономера (стирола) в водной среде в присутствии газообразователя (изопентана), инциатора (перекись Лаурсила), эмульгаторов (поливиниловый спирт или поливинилпирролидон) и стабилизатора (сополимер метилметакрилата и метакриловой кислоты и сольвар), предотвращающего слипание гранул одних с другими. Достоинством этого метода является то, что сырье снимают с автоклава большими порциями; гранулы получают транспортабельными

и могут быть рассеяны и вспенены на простом оборудовании на месте использования. Это особенно важно для водоочистных станций, отдаленных на значительные расстояния от заводов-изготовителей. Для получения пенополистирольных гранул с модифицированной поверхностью исходное сырье смешивают в различных пропорциях со вспенивающимися агентами, инициаторами и другими добавками, меняя режим и продолжительность вспенивания.

Беспрессовым методом тем же оборудованием можно получить вспенивающийся полистирол разных марок, существенно отличающихся одна от другой. Так, за последние 30 лет в ОНПО «Пластполимер» помимо основных марок ПСВ, ПСВ-С и ПСВ-Б были разработаны новые марки гранулированного вспенивающегося масло- и бензостойкого пенополистирола: ПСВ-М20 и ПСВ-Н35, ПСВ-Э3 и ПСВ-Э5 (сверхлегкие), ПСВ-СПМ (с низким содержанием — до 0,05 % — мономера стирола), ПСВ-ЛД (с улучшенной газифицируемостью), изготавливаемые по ГОСТ 05-202-83. По ТУ 6-05-1905-93 изготавливают пенополистирол с поверхностной обработкой бисера марок ПСВ-77Р, ПСВ-77С и др.

Приготовление плавающей фильтрующей загрузки из гранул пенополистирола состоит в предварительном рассеве бисера, его вспенивании и охлаждении в заданном технологическом режиме. Степень расширения гранул, характеризуемая отношением объема вспененных гранул к объему исходных, зависит от вида и содержания вспенивающегося агента в исходном продукте, вида и температуры теплоносителя, продолжительности и условий протекания вспенивания в различных аппаратах (рис. 9.1).

Основными условиями правильного приготовления плавающей фильтрующей загрузки являются строгое соблюдение заданных режимов температуры и времени тепловой обработки; создание одинаковых температурных условий для всех зерен бисера, участвующих в технологическом цикле вспенивания; предотвращение взаимослипания гранул.

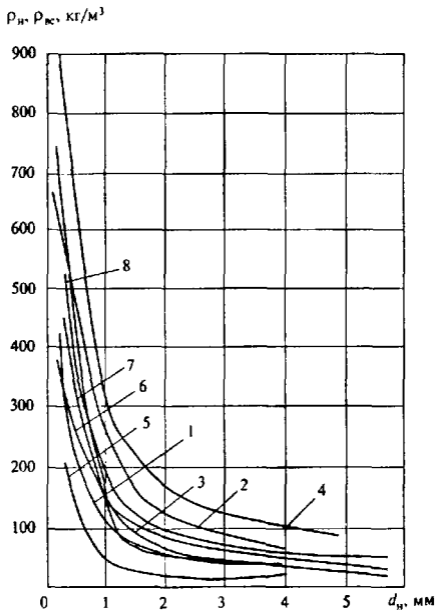


Рис. 9.1. Зависимость кажущейся и насыпной плотности вспененных гранул полистирола различных производств от их диаметра и условий вспенивания:

1, 3 – для кажущейся плотности недробленого вспененного полистирола; 5, 7 – то же, насыпной плотности; 2, 4 – для кажущейся плотности дробленого вспененного полистирола; 6, 8 – то же, насыпной плотности; 1, 2 и 5, 6 – производства ПО «Стирол»; 3, 4 и 7, 8 – производства НХК г. Салавата

Таблица 9.1.

Технические характеристики установок для вспенивания гранул полистирола

Тип установки	Производительность, кг/ч (м ³ /ч)	Мощность двигателя, кВт/ч	Время вспенивания, мин	Температура вспенивания, °С	Давление пара в барабанах, МПа	Давление воздуха, МПа	Температура воздуха для сушки, °С
Харьковского СКТБ «Харпластмасс»	40...150	3,6	1...5	150	0,03...0,08	—	50...60
ТР-1	180	3,7	5...10	105...100	0,12...0,18	—	—
Шнековая машина	80...120	3,5	2...8	98...100	—	—	—
«Парадубица»	(5)	3	5...10	100	0,13	0,4	—
Механический вспениватель	20	2,5	1...5	95...100	—	0,15...0,2	70...80
ВУ-2 (вспенивание горячей водой)	40...50	—	3...5	98...100	—	—	50...70
ВУ-3 (вспенивание паром)	57,6	4	3...4	98...100	0,07...0,15	—	50...60
НПО «Энергосталь»	100...120	5,5	1,5...2	98	0,04	—	—

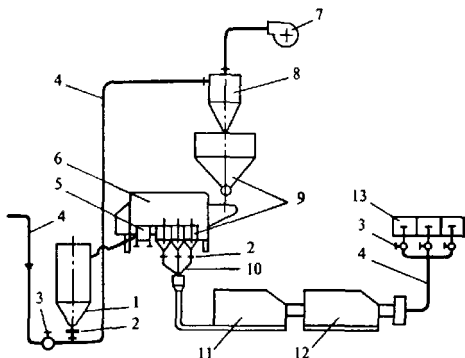


Рис. 9.2. Производственная линия приготовления пенополистирольной загрузки:

1 — приемный бункер; 2 — затвор; 3 — заслонка; 4 — воздуховоды; 5 — дробилка; 6 — машина для отсева; 7 — вентиляторы; 8 — циклон; 9 — бункеры-накопители; 10 — быстроразъемные шланги; 11 — вспениватель; 12 — бак с холодной водой; 13 — сушильная камера

Правильная технология вспенивания позволяет из исходных гранул различного диаметра получить плавающую загрузку с широким диапазоном изменения гранулометрического состава, удовлетворительными механическими свойствами и хорошо развитой площадью свободной поверхности. Характеристики различных отечественных и зарубежных вспенивателей приведены в табл. 9.1. Технологическая линия приготовления пенополистирольной загрузки водоочистных фильтров с применением вспенивателей конструкций ЦНИИКИВР (ВУ-2 и ВУ-3) и НПО «Энергосталь» (Донецкий филиал) приведена на рис. 9.2. Схемы установок для вспенивания бисера полистирола паром и водой в стационарных и

Таблица 9.2.

Продолжительность вспенивания и выход готовой продукции для механических вспенивателей водой (ВУ-2) и паром (ВУ-3)

Диаметр исходной фракции, мм	Время вспенивания, с	Диаметр гранул, мм, вспененных в механических вспенивателях	
		водой (ВУ-2)	паром (ВУ-3)
0,4...0,9	60	0,6...1,2	0,9...1,8
	120	0,7...1,4	1...2,1
0,9...1,5	120	1,4...2,3	1,8...3,2
	120	2,3...3,8	3,2...5,5
2,5...3	120	4...6	4,8...8

полевых (на полигонах и стройплощадках) условиях представлены на рис. 9.3.

Продолжительность вспенивания водой или паром при $T = +100...+105$ °С можно ориентировочно принимать по табл. 9.2.

После вспенивания гранулы промывают в холодной воде для предотвращения их слипаемости и отделения вспененных гранул, просушивают горячим воздухом и транспортируют в бункер готовой продукции.

Результаты наших исследований показали, что при диаметре вспененных гранул 0,27...5,85 мм и продолжительности вспенивания исходного бисера разных заводов в 200...300 с кажущаяся плотность гранул (с учетом воздуха внутри гранул) может изменяться в весьма широком диапазоне — от 764,5 до 56 кг/м³ и менее для недробленого пенополистирола и от 936,5 до 93,3 кг/м³ для дробленого. Высокая стойкость против весового поглощения воды (0,03...5,2 %), достаточная прочность на истирание и измельчение (0,01...0,05 %), малая кажущаяся плотность рабочих гранул (50...150 кг/м³) обуславливают существенное преимущество пенополистирольной загрузки перед тяжелыми грузками с плотностью зерен больше плотности воды.

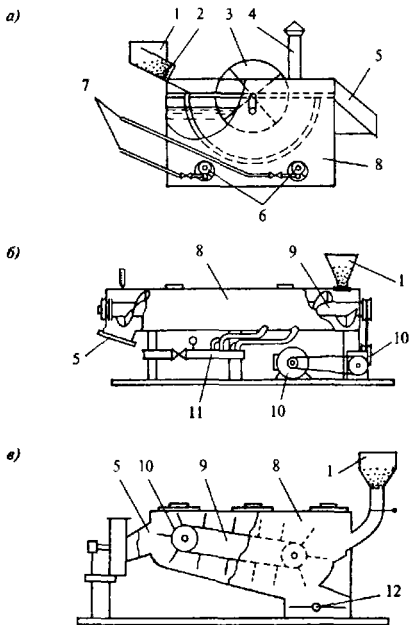


Рис. 9.3. Конструктивные схемы вспенивателей полистирола:

а) – автономный водяной вспениватель ВУ-2 конструкции ЦНИИКИВР; б) – паровой вспениватель ВУ-3 конструкции ЦНИИКИВР; в) – конструкции НПО «Энергосталь» (Донецкий филиал). 1 – приемный бункер; 2 – опрокидыватель; 3 – механическая мешалка; 4 – вентиляционный стояк; 5 – выгрузочные люки; 6 – форсунки; 7 – подвод дизельного топлива; 8 – корпус; 9 – устройства для транспортировки гранул; 10 – приводные устройства; 11 – подвод пара; 12 – электронагревательный прибор

Пенополистирол устойчив по отношению к действию сильных (за исключением азотной) и слабых кислот, к длительному воздействию морской и пресной вод, в том числе в тропических условиях, не подвержен воздействию микроорганизмов и грибков. Выдерживает перепад температур от -65 до $+75$ °С. Минздравом России разрешено его применение в коммунальном и техническом водоснабжении. Исследования эксплуатируемой в течение 20 лет в производственных условиях пенополистирольной загрузки не выявили значительных изменений ее физико-химических свойств.

Плавающие загрузки из недробленных и дробленных вспененных гранул полистирола позволяют: интенсифицировать процессы задержания примесей воды на поверхности зерен и в толще загрузки, сокращать расходы промывных вод и объем осадков, упрощать конструкцию дренажных систем, совмещать в одном сооружении несколько технологических приемов водозабора и очистки воды [1]. Как видно из табл. 9.3, дробление бисера полистирола до вспенивания повышает его технологические свойства, увеличивая пористость и удельную поверхность гранул.

Таблица 9.3.

Физико-механические свойства
применяемых на практике плавающих фильтрующих загрузок,
получаемых из отходов пенопласта

Вид фильтрующей загрузки	Средний диаметр гранул, мм	Средняя насыпная масса, кг/м ³	Пористость, %	Средняя кажущаяся плотность, кг/м ³	Удельная поверхность, м ² /г	Приведенная стоимость, руб/м ³
Недробленный вспененный полистирол	0,5...1,2	210	38...40	160	67	75
Дробленный вспененный полистирол	0,5...1,2	105	41...43	180	79	120
Дробленный пенопласт из отходов производства	1,5...5	28	48...66	27	105	8

Наряду с отмеченными преимуществами загрузки из вспененного гранулированного полистирола стоимость ее значительно возрастает с уменьшением диаметра гранул. Существенно удешевить стоимость плавающей загрузки и одновременно интенсифицировать ее поверхностные свойства позволяет способ *получения загрузки из отходов листового или кускового пенопласта* [2]. При этом одновременно реализуется вторичное сырье и упрощается утилизация отходов производства. Такого рода материал используют предприятия химической, электронной, строительной промышленности, а также заводы, выпускающие бытовую технику: упаковочную тару, различные блоки, тепло- и звукоизоляционные бракованные плиты и т.п. Фильтрующую загрузку из отходов пенопласта приготавливают на специальной установке, позволяющей измельчать, классифицировать и обеззараживать гранулы (рис. 9.4).

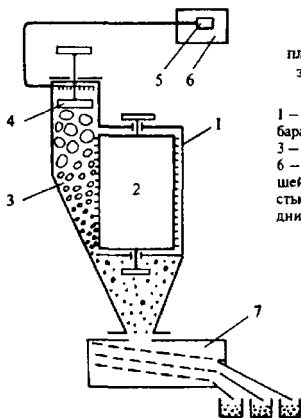


Рис. 9.4. Установка для получения плавающей фильтрующей загрузки из дробленого пенопласта:

1 — корпус; 2 — вращающийся барабан с острыми выступами; 3 — бункер; 4 — груз; 5 — насос; 6 — емкость с обеззараживающей и охлаждающей жидкостью; 7 — емкость с сетчатым дном

Куски пенопласта или спекшиеся гранулы пенополистирола подают в бункер и под давлением $2,5...3 \text{ кг/см}^2$ груза перемешают к барабану, вращающемуся с помощью электродвигателя со скоростью 1500 об/мин. Расположенные в шахматном порядке на поверхности барабана острые выступы при круговом движении отрывают от кусков пенопласта гранулы различных размеров. Крупность гранул регулируют изменением скорости вращения барабана и величиной зазора. Оптимальная линейная скорость движения острых выступов барабана 700 м/мин.

Зазор между корпусом и барабаном устанавливают в 1...4 мм. Экспериментально устанавливают зазор для получения гранул оптимального размера. Охлаждающую и обеззараживающую жидкость подают насосом к разбрызгивателю и через отверстия изливают в одном направлении на барабан, охлаждая его, в другом направлении — орошая куски отходов пенополистирола. В устройстве одновременно с дроблением обеззараживающая и охлаждающая жидкость орошает кусковой и измельченный пенополистирол, стекая через емкость в приемный бак. Производительность измельчающего устройства по выходу готовой продукции регулируют весом груза и изменяют в пределах $0,4...0,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 п.м режущей крошки барабана.

В табл. 9.4 приведены данные, подтверждающие оптимальные скорости вращения барабана. Величину зазора 1...4 мм устанавливают для получения заданной крупности гранул 2...5 мм; при зазоре 1 мм получают много пылевидных отходов; при величине зазора больше 4 мм гранулы получаются больше 5 мм. Исходным материалом служили кусковые пенопластовые отходы Кишиневского завода холодильников с размерами: толщиной 30...60 мм, длиной 300...500 мм, шириной 200...400 мм. Указанные в таблице показатели определены в соответствии с действующими методиками испытания фильтрующих материалов. Эффективное обеззараживание фильтрующего материала обеспечивалось подачей раствора хлорной извести с концентрацией хлора 40 мг/л. По своим характеристикам загрузка из дробленого пенопласта превосходит освоенные ранее фильтрующие материалы из дробленого и

Таблица 9.4.

**Результаты производственного испытания
установки по дроблению кускового пенопласта**

Скорость вращения барабана, об/мин	Линейная скорость движения выступов, м/мин	Производительность, м ³ /ч	Эквивалентный диаметр полученных гранул, мм	Коэффициент неоднородности загрузки	Вывод
1500	700	0,4	1,3	3,2	Оптимальный режим по составу загрузки
3000	1400	0,55	2	3,1	То же
6000	2800	0,7	3,7	5,3	Неоптимальный режим по составу загрузки

недробленого вспененного полистирола. Из табл. 9.3 видно, что насыпная масса загрузки из дробленого пенопласта в 3,7...6,5 раза меньше, удельная поверхность в 1,3...1,6 раза больше; пористость, определенная после предварительного замачивания гранул, выше на 16...30 % по сравнению с загрузками из вспененных гранул полистирола. Максимальное значение водопоглощения загрузки из дробленого пенопласта крупностью 0,5...5 мм, замачиваемой в воде на период до 1 сут, составило в опытах 9,1 %.

Истираемость и измельчаемость дробленых гранул, определенные по известным методикам ВНИИ ВОДГЕО, составили соответственно 0,1 и 1,14 %. Химические и санитарно-гигиенические свойства загрузки из дробленого пенопласта, обусловленные структурой пенополистирола марок ПСВ или ПСВ-С, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к фильтрующим материалам водоочистных сооружений и установок. Гранулометрический состав дробленого пенопласта зависит от структуры и характера используемых кусковых блоков и плит, конструкции дробильного узла установки для получения за-

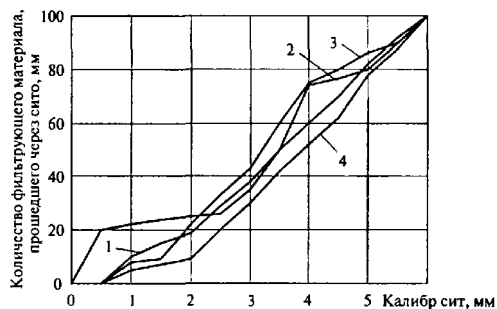


Рис. 9.5. Кривые гранулометрического состава загрузок из дробленого пенопласта в зависимости от скорости оборотов вращения барабана измельчителя n мин⁻¹:

- 1 — 1500, 2 — 3000; 3 — 6000 (определенные весовым методом);
4 — 15000 (определенные объемным методом)

грузки и технологического режима эксплуатации последнего. На рис. 9.5 кривые гранулометрического состава отличаются в зависимости от оборотов барабана измельчителя.

Для определения гидравлических характеристик пенопластовых загрузок равного гранулометрического состава и их сравнения с аналогичными характеристиками клиноптилолитовой загрузки на Днестровской водопроводной станции Кишинева были смонтированы три экспериментальных модельных фильтра высотой по 2,5 м, диаметром по 0,15 м каждый. Толщину фильтрующих слоев принимали во всех фильтрах одинаковой, равной 1,1 м. Диаметр зерен клиноптилолитовой загрузки составил 0,6...1,7 мм, а загрузок из дробленого пенопласта — 0,6...1,7 мм и 1,7...2,8 мм.

Зависимости начальных потерь напора от скорости фильтрования, полученные В.А. Мякишевым во всех загрузках при восходящем и нисходящем фильтровании

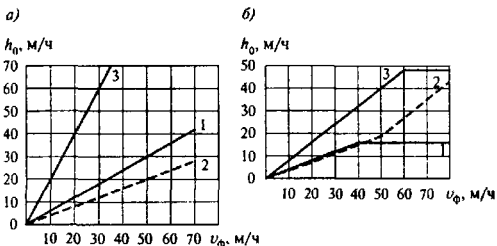


Рис. 9.6. Зависимость начальных потерь напора от скорости фильтрования:

а) – в плотном слое; б) – в расширенном слое; 1 – дробленый пенопласт $d_{cp} = 0,6...1,7$ мм; 2 – дробленый пенопласт $d_{cp} = 1,7...2,8$ мм; 3 – клинцитолит $d_{cp} = 0,6...1,7$ мм

(рис. 9.6 а, б), показали, что энергетические параметры загрузки из отходов пенопласта более экономичны по сравнению с клинцитололитовой. Так, при одинаковых гранулометрических составах загрузки и их толщине потеря напора в плотных слоях пенопластовой загрузки при $v = 5...30$ м/ч оказалась в 3 раза меньше по сравнению с клинцитололитовой загрузкой.

Предварительные исследования процессов реагентного и безреагентного осветления воды на фильтрах с восходящим фильтрационным потоком, загруженных крупногранульной загрузкой из отходов пенопласта ($d = 0,6...5$ мм) на толщину 1...2 м, проводили на воде р. Днестра. После обработки растворами коагулянта воду отстаивали в горизонтальных отстойниках. Мутность воды после отстойников составляла в опытах 5...15 мг/л. Искусственное подмутнение воды илом р. Днестра позволило получать суспензии с мутностью 13...330 мг/л. Скорость фильтрования в опытах изменялась от 4,5 до 15 м/ч. Параметры технологических исследований работы модельных фильтров обобщены и приведены в табл. 9.5.

Таблица 9.5.

**Результаты осветления речной воды
в фильтрующей загрузке из отходов пенопласта**

Взвешенные вещества в исходной воде, мг/л	Средняя доза коагулянта, мг/л	Скорость фильтрация, м/ч	Эффективность осветления, %	Продолжительность фильтрации, ч	Удельный прирост потерь напора, см/ч	Примечание
13...22	11...16	5	97	40	1	Тип загрузки – дробленый пенопласт; скорость вращения измельчителя 1500 об/мин; высота слоя загрузки 1,1 м; средний диаметр гранул 0,6...1,7 мм;
		8,5	93	26	1,8	
73...89	32...35	15	88	16	2,8	
		4,5	94	15	2,7	
216...286	54...61	9,5	89	9	3,9	
		15	78	7	4,5	
300...330	Без реагентов	6	91	11	5,2	
		11	84	9	8	
		10	80	6	4,6	средний диаметр гранул 1,7...2,8 мм

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при указанных выше параметрах загрузки и фильтрации такие фильтры можно использовать для фильтрующих оголовков, кассетных окон водозаборов, предварительных (I ступень) в двухступенчатых схемах очистки воды для питьевого водоснабжения. Максимальный удельный прирост потерь напора в опытах в загрузке не превышал 8 см/ч, что объясняется большой пористостью и развитой поверхностью загрузки из дробленого пенопласта. Безреагентное фильтрование с содержанием взвеси до 330 мг/л через предложенную загрузку с крупностью гранул 2...4 мм показало, что эффект осветления на первой ступени очистки воды до 80 % может быть получен при скорости до 10 м/ч.

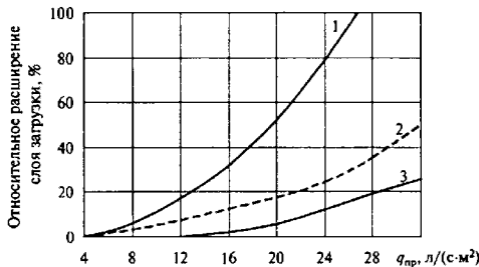


Рис. 9.7. Зависимость относительного расширения слоя фильтрующих материалов от интенсивности промывки:

1 – клиноптилолит $d_{ср} = 0,6...1,7$ мм; 2 – дробленый пенопласт $d_{ср} = 0,6...1,7$ мм; 3 – дробленый пенопласт $d_{ср} = 1,7...2,8$ мм

Исследования работы пенопластовой загрузки в режиме промывки позволили получить зависимость относительного расширения слоя загрузки от интенсивности промывки, л/(с·м²). Установлено, что для расширения пенопластовой загрузки необходима интенсивность промывки на 15...20 % выше, чем при промывке загрузки из дробленого и недробленого гранулированного пенополистирола (рис. 9.7). Это обусловлено невысокой плотностью пенопластовой загрузки, а также хорошо развитой поверхностью гранул. Двадцатипроцентное расширение загрузки из дробленого пенопласта с диаметром гранул 0,6...1,7 мм наблюдалось при интенсивности промывки 20 л/(с·м²).

Значительный интерес, касающийся качества загрузочного материала, используемого в водозаборно-очистных сооружениях и установках, представляют *волокнуистые и комбинированные волокнуисто-гранульные слои*. Основу волокнуистой плавающей загрузки составляют натуральные и химические волокна, физико-химические и структурные свойства которых представлены в табл. 9.6. По химической и биологической стойкости синтетические волокна значительно превосходят натуральные.

Физико-механические и структурные свойства текстильных волокон [5]

Волокно	Плотность, ρ , г/см ³	Пористость V_p , %	Удельная поверхность $S_{уд}$, м ² /г	Влажность при $t_a = 20^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 65%, W , %	Разрывное напряжение σ , МПа	Относительная прочность в мокром состоянии $\sigma_{от}$, %	Разрывное удлинение Δl , %	Устойчивость к многократным изгибам при $\sigma = 0,5$ МПа, число изгибов, тыс.	Устойчивость к истиранию при нагрузке 3 МПа, число циклов, тыс.	Температура размягчения T_p , °C
НАТУРАЛЬНЫЕ										
Хлопок	1,52	15,8	93,8	7...8	35...45	—	8...10	6,5	—	130
Шерсть		17	120,6	15...17	18	—	40	—	—	70
ХИМИЧЕСКИЕ										
Вискозное	1,51	10,2	50,6	12,8...13,4	22,8...30,4	45...55	18...23	0,15...0,45	0,12...0,45	—
Капрон	1,14	0,52	100,2	3,5...5	47...61	83,8...88	20...41	28,3...24,78	1,53...2,17	196
Найлон	1,14	—	—	5	60...70	—	20...25	29,65	2,32	220
Ланид	1,15	—	—	3,4...4	45...57	86,5...92	26...34	11,2... 14,6	1,01...1,04	—
Лавсан	1,36	4,92	26,9	0,4...0,5	58...74	100...102	25...30	9,3...18,17	1,25...1,36	230...240

Волокно	Плотность, ρ , г/см ³	Пористость, V_0 , %	Удельная поверхность, $S_{уд}$, м ² /г	Влажность при $t_a = 20^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 65%, W , %	Разрывное напряжение σ , МПа	Относительная прочность в мокром состоянии $\sigma_{от}$, %	Разрывное удлинение Δl , %	Устойчивость к многократным изгибам при $\sigma = 0,5$ МПа, число изгибов, тыс.	Устойчивость к истиранию при нагрузке 3 МПа, число циклов, тыс.	Температура размягчения T_p , °C
ХИМИЧЕСКИЕ										
Нитрон	1,17	7,24	19,7	1,0...1,5	42...70	92...95	16...22	28,3...29,38	0,15...0,2	230
Винол	1,3	—	—	3,5...5	40...65	80...85	10...19	20,5...34,6	5,40...9,7	—
Полипропиленовое	0,91	0,04	26,1	0,02	32...52	100	22...90	67...100	33,5	150
Полиэтиленовое	0,92	—	—	0,02...0,4	29...40	100	15...35	5,9...15	1,65	108...130
Хлорин	1,47	—	—	0,17...0,3	17...24	100	15...40	3,2...3,6	—	90
Тефлон	2,2	—	—	0,02	16...29	98...100	13	—	7,38	327
Фторлон	1,96	—	—	0,2	90...98	—	6...9	0,42	0,31...0,40	136

Исследованиями в натуральных условиях эксплуатации водопроводных и канализационных станций [17] установлено, что в качестве волокнисто-пенопластовой загрузки фильтрующих оголовков и кассет водозаборно-очистных сооружений предпочтение следует отдавать синтетическим волокнам: капрону (ТУ 6-06, СН-6-87), нитрону (ОСТ 17-749-78) и полиэтилену (ОСТ 54-763-75). Они высокопрочны, термостойки, наименее подвержены разрушению микроорганизмами и грибами. В зависимости от назначения и характера осветляемой суспензии комбинированные волокнисто-пенопластовые слои могут работать в восходящем и нисходящем режимах фильтрования. Применение только волокнистой загрузки целесообразно в качестве носителей прикрепленных микроорганизмов для биологической предочистки природных вод, содержащих органические загрязнения (см. гл. 5).

В качестве заполнителей фильтрующих оголовков и кассет береговых водоприемных колодцев, а также установок, описанных в п. 9.3 и 9.4, можно использовать и некоторые вспученные природные гранульные и кусковые материалы. Наиболее перспективны вспученные *гранулы шунгизита, получаемые из сланцевых пород карельских шунгитов*, обжигаемых при температуре порядка 1100 °С [5], и *редоксид*, изготавливаемый из керамических глин Подмосковья. Замкнуто-ячеистые легкие гранулы шунгизита при условии их незначительного водопоглощения (10...15 %) перспективны в качестве заполнителей кассет береговых водозаборов и объемных слоев фильтрующих оголовков.

Источниками газообразования, приводящими к вспучиванию, формированию и упрочению замкнуто-пористой структуры гранул шунгизита, являются физически или химически связанная вода минералов, сульфаты и оксиды железа. Основной компонент, обеспечивающий вспучиваемость шунгитовых сланцев при их обжиге, — высокодисперсное шунгитовое вещество, содержащееся в сланцах в количестве до 2 %. Перспективные запасы шунгитов для производства шунгитового гравия находятся в Карелии и Магаданской области.

Исследованные нами [3] физико-химические и санитарно-гигиенические свойства шунгизита (табл. 9.7) показали, что кажущаяся плотность гранул шунгизита уменьшается с увеличением их диаметра, в связи с возрастанием количества замкнуто-ячеистых пор внутри вспученных гранул. Внутризерновая пористость гранул шунгизита диаметром 1...5 мм достигает ~ 61 %. Постепенное охлаждение гранул шунгизита после выгрузки из печи (где обжиг производят при $t = 700...1100^\circ\text{C}$) в течение 30...40 мин позволяет увеличить их прочность на 15...20 %.

Таблица 9.7.

Физико-механические свойства гранул шунгизита

Крупность, мм	Средняя плотность гранула, г/см ³	Насыпная плотность, г/см ³	Пористость, %	Водопоглощение весовое, %		Истираемость, %	Измельчаемость, %	Удельная пористость, м ³ /г
				1 сут	10 сут			
1...1,5	1,032	519,9	49,6	10,2	13,8	0,195	0,117	76,1
2...2,5	0,919	444,2	51,6	7,9	12,6	0,665	1,58	74,3
3...5	0,597	325	48,5	7,8	10,84	0,701	1,61	71,6

Результаты исследований по растворимости вспученных гранул шунгизита с диаметром гранул 1...3 мм в различных химических средах приведены ниже:

Нейтральная среда

Плотный остаток,
%...4,6
Окисляемость...0,32
SiO₂...0,02

Кислая среда

Плотный остаток,
%... 18
Окисляемость...0,84
SiO₂...0,15

Щелочная среда

Плотный остаток,
%...16
Окисляемость...0,3
SiO₂...0,019

На основании санитарно-гигиенических исследований установлено, что шунгизит марки 300...500 может быть использован в качестве фильтрующей загрузки при очистке

природных вод для питьевых целей. Выделение из свежеслученного шунгизита в первые 10...20 мин в контактируемую с ним воду небольшого количества железа (0,2...0,3 мг/л) способствует коагуляционным процессам при очистке поверхностных вод. Изучение гидравлических свойств фильтрующей загрузки из шунгизита показало, что при диаметре гранул 1...2 и 2...3 мм коэффициент формы гранул достигает значений 1,67 и 2,31, а значения удельных поверхностей загрузки — 33,7 и 26,9 см⁻¹ соответственно.

Близкий по свойствам и природе к шунгизиту искусственно получаемый из *вспучивающихся глин редоксид* обладает более повышенным водопоглощением и растворимостью в агрессивных средах в первую очередь из особенностей его дробления после спекания в форме блоков. Физико-химические свойства редоксида и его влияние на контактируемую с ним воду приведены ниже:

Показатель	Значение
Объемная плотность, кг/м ³	150...200
Прочность при сжатии, МПа	0,2...1
Общая пористость (объемная), %	85...95
Размер пор, мм	0,0005...30
Водопоглощение, %	До 37
Морозостойкость (циклы), шт.	Более 10

Материал редоксид обеспечивает благоприятное развитие и жизнедеятельность микроорганизмов с образованием устойчивой биопленки. Микроорганизмы развиваются на поверхностных порах и в порах его глубинных слоев. В процессе жизнедеятельности поверхностные микроорганизмы биопленки окисляют находящиеся в очищаемой воде органические вещества в аммонийный азот, а глубинные микроорганизмы восстанавливают образующиеся при этом нитраты и нитриты до молекулярного азота, самоудаляемого в атмосферу. Окислительная мощность рабочего объема очистного слоя возрастает в 3 раза при одной и той же высоте рабочего слоя по отношению к другим загрузкам.

При скорости фильтрования до 5...7 м/ч эффект снижения железа общего при его концентрации в исходной воде до 5,8 мг/л достигал 98 %, марганца — 50 % (при $Mn_{исх}^{2+} = 0,2$ мг/л), цветности — 60 % (при $C_{исх} = 60$ град.), перманганатной окисляемости — 50 % (при $Ok_{исх} = 10$ мг/л), нефтепродуктов — 44 % (при $Неф_{исх} = 1,26$ мг/л).

Ввиду возможной потери со временем плавучести гранул шунгизита и редоксида их использование в корпусах оголовков и кассетах, перекрывающих водоприемные окна береговых водоприемных колодцев, требует фиксирования удерживающими решетками или сетками, не препятствующими промывке загрузок. Перспективно применение редоксида в качестве носителя прикрепленной иммобилизованной микрофлоры непосредственно в водозаборных узлах из каналов, рек, водоемов.

9.3. Русловые водозаборно-очистные сооружения

Для технического, полевого, пастбищного водоснабжения, орошения требуются значительные количества частично осветленной воды. Подготовка поверхностных вод для этих целей на традиционных очистных сооружениях требует существенных капиталовложений и эксплуатационных затрат. Сетчатые водоприемники не решают достаточно эффективно задачу осветления воды и проблему рыбозащиты, так как уменьшение отверстий сеток алет значительное возрастание потерь напора из-за интенсивного засорения и сложности их промывки. М.Г. Журба совместно с сотрудниками ВНИИ ВОДГЕО в 1970–90 гг. разработал новые конструкции водозаборно-очистных сооружений, предназначенных для забора и предварительной очистки поверхностных вод для водоснабжения и орошения [1].

К таким сооружениям относятся оголовки русловых водозаборов, выполненных в виде железобетонных колодцев, боковые стенки которых имеют по периметру входные окна (рис. 9.8 а). Внутри короба вставлен каркас из

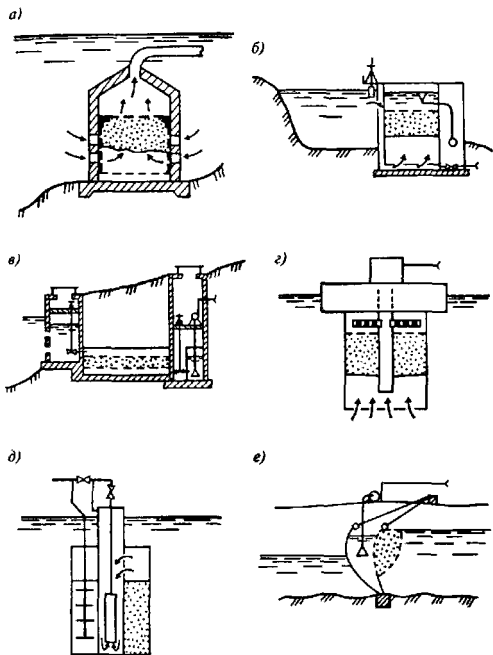


Рис. 9.8. Конструктивные схемы водозаборно-очистных сооружений с пенополистирольной загрузкой:

a) – русловой раструбный фильтрующий оголовок; *б)* – водозабор-фильтр из каналов; *в)* – трубчатый фильтр; *з)* – насосно-фильтровальный плавающий агрегат; *д)* – улитковый насосно-фильтровальный агрегат; *е)* – водозаборно-очистное устройство с гибкой мягкой плотной

металлических стержней, заполненный крупными гранулами вспененного полистирола или шунгизита с $d_{\text{вс}} = 4...8$ мм. Вода, поступающая через водоприемные окна, проходит сначала грубую очистку и только после этого достигает уровня оси всасывающего патрубка насосного агрегата. Фильтрующий слой промывают обратным током воды от напорного трубопровода при включении насоса. Рекомендуемая интенсивность промывки до $15 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ при данном гранулометрическом составе позволяет при конструировании оголовков не учитывать дополнительную высоту на расширение фильтрующего слоя при промывке.

Для получения воды более высокого качества оголовки выполняют в виде корпуса, боковые стенки которого представляют собой фильтрующие кассеты с двумя или тремя слоями загрузки. Внедрение подобной конструкции было осуществлено на Вологодском заводе дорожного оборудования. До реконструкции там эксплуатировались сооружения, запроектированные в соответствии с типовым проектом ТП 901-1-27. Водозаборные сооружения производительностью $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ включали два русловых затопленных водоприемника в виде металлических цельно-сваренных воронок, оборудованных рыбозащитными сетками с ячейкой 1×1 мм, самотечные трубопроводы, береговой железобетонный водоприемный колодец глубиной 12 м, совмещенный с насосной станцией первого подъема.

К специфическим особенностям проектирования водозаборно-очистных сооружений с плавающим фильтрующим слоем относятся:

- назначение их конструктивных (габаритных) размеров в зависимости от гидрологических условий, обеспечения требуемых расходов воды и степени очистки воды;
- взаимодействие и взаимосвязь напорно-расходных характеристик блоков водоочистки, всасывающих или самотечных трубопроводов и насосов первого подъема;
- подбор режимов фильтрования, параметров фильтрующего слоя и определение продолжительности фильтрования и промывки загрузки;
- методика расчета эжекторных промывных устройств с учетом свойств вспененных гранул пенополистирола.

Технологическую схему водозабора, включающую водоприемник, водоочистной сеточный колодец и насосную станцию, выбирают соответствующей требуемому расходу воды, категории водозабора по надежности подачи воды, гидрологической характеристике водоисточника, особенностям местных условий строительства сооружений, требованиям санитарной инспекции и рыбоохраны, а также управления водного транспорта и водоохраны, намеченному увеличению производительности водозабора. С приданием ему дополнительно функций очистки воды следует учитывать необходимость соблюдения условий поочередных режимов работы фильтрования и промывки фильтрующих слоев.

По результатам исследований работы водозаборно-очистных сооружений фильтрующего типа и с учетом рекомендаций по применению и проектированию фильтров с плавающей загрузкой [9], подбор режимов фильтрования, параметров фильтрующего слоя, определение продолжительности фильтрования и промывки загрузки водозаборно-очистных сооружений, конструкции которых приведены на рис. 9.8, осуществляли с соблюдением следующих условий:

- слой загрузки фильтрующего материала из условия обеспечения качества очистки воды должен быть не менее 0,5 м;
- при наличии в системе технического водоснабжения береговых очистных сооружений скорость фильтрования воды в оголовке может достигать 75...100 м/ч. При содержании в воде водоема взвешенных веществ до 50 мг/л и требуемой небольшой производительности сооружений отпадает необходимость в устройстве береговых сооружений по осветлению воды. В этом случае скорость безреагентного фильтрования в водозаборно-очистной фильтрующей установке принимают в пределах до 1...5 м/ч;
- диаметр самотечного или всасывающего трубопровода $D_{тр}$ определяется по требуемой производительности каждой секции оголовка и скорости движения воды в трубах, равной 0,7...1 м/с;
- отметка верхней части сооружения, размещаемого в русле водотока, должна быть ниже на 0,2 м нижней кромки льда в водоеме при ледоставе.

Ввиду того, что строительство водозаборных сооружений Вологодского завода дорожного оборудования проводили в условиях действующего предприятия, имеющего развитую сеть инженерно-технических коммуникаций и водонасыщенные грунты в районе строительства, производство работ по возведению береговых водоприемных колодцев глубиной 12 м было весьма затруднительно.

Несмотря на относительно низкое содержание взвешенных веществ в р. Вологда, водоприемный колодец постоянно заливался. По разработанному проекту реконструкции в 1989 г. на этом заводе был изготовлен, смонтирован и пущен в эксплуатацию русловой водозабор фильтрующего типа с плавающей пенополистирольной загрузкой производительностью 50 м³/ч, состоящий из двух водозаборно-очистных железобетонных оголовков, двух самотечно-сифонных трубопроводов диаметром 125 мм, длиной 50 м, насосной станции первого подъема.

Корпус оголовка имеет обтекаемую форму и выполнен из железобетона, что позволило отказаться от свайного основания и упростить производство работ по монтажу оголовка в русле реки. Забор воды осуществляется двумя боковыми окнами размером 750×300 мм, перекрытыми перфорированными листами из нержавеющей стали. Внутренняя полость оголовка заполнена гранулами вспененного полистирола с диаметром 4...10 мм. Фильтрующий слой в конструкции оголовка дает возможность задерживать грубодисперсные взвешенные вещества непосредственно в водоеме. Воду от оголовков к насосам первого подъема подают самотечно-сифонными линиями без берегового колодца.

Сифонные линии при низких уровнях воды в реке, а также залив насосов заряжают эжекторной установкой, включенной в обвязку трубопроводов насосной станции. Фильтрующий слой водозаборно-очистных оголовков промывают обратным током воды, находящейся в самотечно-сифонных линиях, при отключении насосов первого подъема.

После пуска водозабора в эксплуатацию были проведены промышленные испытания, результаты которых приведены в табл. 9.9, из которой видно, что эффект очистки воды удовлетворяет требованиям технической воды. Десятилетний опыт эксплуатации показал надежность конструкции. За весь период работы водозабора не наблюдалось проскока личинок и мальков рыб, что подтвердили исследования, выполненные в лаборатории ГОСНИОРХ Вологды. Внедрение в системах промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения конструкций водозаборо-очистных сооружений подобного типа для забора из рек и грубой очистки воды от взвешенных веществ позволяет в $\approx 1,2$ раза уменьшить «грязевую» нагрузку на водоочистные сооружения, снизить материальные и энергетические затраты на удаление и обработку осадка, образующегося на первой ступени обработки воды, повысить эффективность рыбозащиты.

Таблица 9.9.

Результаты испытаний промышленного водозаборо-очистного сооружения

Дата испытания	Характерные параметры фильтрующего слоя	Мутность воды, мг/л		Эффект очистки, %	Крупность наносов, мм, воды	
		речной	осветленной		речной	осветленной
04.04.93—15.05.98	Фильтрующий материал — вспененный полистирол марки ПСВ Диаметр гранул $d_{ср} = 4...10$ мм Скорость фильтрования $V_{\phi} = 50...60$ м/ч Толщина слоя $L = 0,3$ м Продолжительность фильтроцикла — 48 ч Потери напора за фильтроцикл — 0,1...0,2 м Наличие мальков и рыб в осветленной воде — не обнаружено	13...40	7...15	21...37	0,05...0,5	0,005...0,01

Для оценки технологических свойств и области применения полученной фильтрующей загрузки из дробленого пенопласта проведены ее испытания в процессе осветления природных вод р. Днестра (табл. 9.10). Безреагентное фильтрование речной воды с удельной производительностью до $15 \text{ м}^3/\text{м}^2$ площади фильтра позволяет получить эффект осветления более 50 % при незначительном приросте потерь напора за фильтроцикл (до 0,3...0,5 м). Промывку загрузки в оголовке осуществляют в таких конструкциях обратным током осветленной воды от напорного трубопровода или при выключенном насосе — самотоком.

Таблица 9.10.

Результаты испытаний процессов осветления речной воды в фильтрующей загрузке из отходов пенопласта

Крупность гранул фильтрующей загрузки, мм	Скорость фильтрования, м/ч	Взвешенные вещества в исходной воде, мг/дм ³	Прирост потерь напора, см/ч	Эффективность осветления воды, %
2...5	10	80...100	10...15	61...67
2...5	25	120...150	15...30	45...60

Фильтрующий оголовок с эжекционной промывкой загрузки, выполняемой непосредственно в корпусе фильтра, показан на рис. 9.9. Руслевой водозабор фильтрующего типа состоит из фильтрующего оголовка 1, заполненного плавающей загрузкой 2, всасывающей линии 3, подсоединенной с одной стороны к дренажной системе 6, а с другой — к насосу 4. К напорному патрубку насоса 4 подсоединяют напорный водовод 5, от которого отходит трубопровод воды для транспортирования загрузки. Трубопровод 11 имеет диаметр меньший, чем диаметр напорного водовода 5. Соотношение расходов воды по трубам 5 и 11 должно быть не более 1:10. Над фильтрующим оголовком 1 располагается камера регенерации загрузки 7, снабженная биттерами 8. Камера 7 и корпус оголовка 1 соединены центральной трубой 9. В верхней части этой

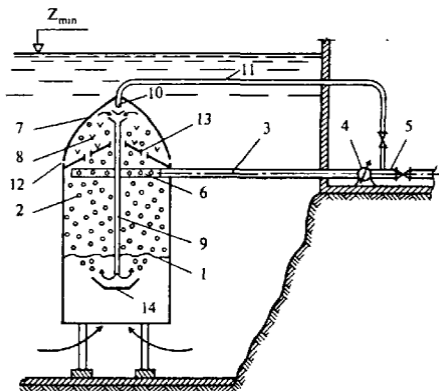


Рис. 9.9. Русловой фильтрующий оголовок с эжекционной промывкой

трубы располагается эжектор 10, позволяющий транспортировать фильтрующую загрузку из колпака в корпус оголовка 1. Под центральной трубой 9 располагается направляющий экран 14, предотвращающий вынос плавающей фильтрующей загрузки за пределы корпуса оголовка. Между камерой 7 и верхней поверхностью оголовка 1 имеются зазоры 12, предназначенные для выпуска осадка за пределы водозаборного устройства. В верхней части корпуса оголовка имеются калиброванные отверстия 13, предназначенные для выпуска зерен фильтрующей загрузки из корпуса оголовка 1 в камеру 7. Размеры этих отверстий должны быть несколько больше размеров зерен загрузки, а их количество принимают в зависимости от принятого времени полной смены загрузки.

При наличии в воде источника взвешенных веществ (кора, листья, травы, песок и другое с размером частиц ≥ 100 мкм)

расчетная скорость фильтрования в водозаборах фильтрующего типа с плавающей загрузкой может достигать 30 м/ч при содержании взвешенных веществ (грубодисперсных) до 300...500 мг/л.

Эффект удаления таких примесей 35...70 %. Минимальная толщина фильтрующего слоя с диаметром гранул 2...4 мм составляет 50...60 см. Радиальные оголовки-фильтры целесообразны в руслах южных рек для обеспечения воды питьевого качества безреагентным методом. При этом назначают: длину фильтрующего слоя — 0,7...1,2 м, толщину рабочего слоя — не менее 0,4 м, среднюю скорость фильтрования — до 3 м/ч, концентрацию взвешенных веществ — не более 500 мг/л (рис. 9.12).

При использовании радиальных фильтров в качестве водозаборных сооружений с грубой предварительной очисткой воды для промышленного и коммунального водоснабжения гранулометрический состав фильтрующей загрузки может быть принят аналогично гранулометрическому составу загрузки для обычных фильтрующих оголовков. При этом полезная производительность сооружения возрастает пропорционально площади радиального фильтрования. При промывке фильтрующих оголовков обратным током воды необходима интенсивность промывки 15...20 л/(с·м²) в течение 5 мин; относительное расширение загрузки — 10...15 %.

При эжекционной промывке соотношение расходов рабочей жидкости и гранульной загрузки с водой составляет 1:1—1,5...1, отношение площадей эжекторного устройства к поперечному сечению фильтровального аппарата — 0,2...0,5; оптимальное время промывки рекомендуется назначать в пределах 2...3 мин. Диаметр трубы центральной дренажной системы $D_{др.ц}$ определяют из условий витания в ней гранул фильтрующего материала так, чтобы фильтрующий слой находился во взвешенном состоянии (кипящий слой).

Диаметр корпуса установки $D_{корп}$ находят по формуле

$$D_{корп} = 2L_{загр} + D_{др.ц}, \quad (9.1)$$

где $L_{загр}$ — слой загрузки фильтрующего материала, м; $D_{др.ц}$ — диаметр центральной дренажной системы, м.

Ширину водоприемного кармана $b_{\text{карм}}$ принимают конструктивно: $b_{\text{карм}} = 0,1 \dots 0,2$ м. Высота водоприемного кармана $H_{\text{карм}}$ зависит от уровня воды в водотоке, производительности сооружений, расчетной скорости фильтрования, диаметра корпуса установки.

Высоту защитного слоя загрузки $h_{\text{заш}}$, равную расстоянию от нижней части периферийного дренажа до нижней кромки фильтрующего слоя, находят из условий предотвращения попадания осадка и неосветленной воды из нижней части сооружения. В схеме с самотечным трубопроводом отвода осветленной воды $h_{\text{заш}} = 0,3 \dots 0,5$ м. При отсутствии берегового колодца и присоединении насосных агрегатов непосредственно к водозаборно-очистным сооружениям высоту слоя $h_{\text{заш}}$ следует определять из условий, что значение вакуума $H_{\text{вак}}$, создаваемого насосами в периферийной дренажной системе, не превышает суммы потерь напора в защитном слое

$$\nabla h_{\text{др.п.}}, \text{ т.е. } h_{\text{вак}} < h, h = \nabla h_{\text{заш}} + \nabla h_{\text{др.п.}} \quad (9.2)$$

Количество эжекторных установок принимают из условия обеспечения надежности промывки фильтрующей загрузки при соблюдении соотношения

$$f_{\text{эж}} / F_{\text{загр}} = 0,2 \dots 0,5. \quad (9.3)$$

Объем эжектируемой загрузки W_{τ} находят по геометрическим размерам сооружения. Время замены загрузки определяется содержанием взвешенных веществ в воде, скоростью фильтрования и потерями напора в фильтрующем слое, которые превышают начальные $\leq 10\%$ (из требования нормальных условий работы насосов). С учетом плотности фильтрующей загрузки $\rho_{\tau} = 120 \dots 200$ кг/м³ массовый расход перекачиваемого твердого тела определяется формулой

$$G_{\tau} = \frac{W_{\tau}}{t_{\text{замены}}} \rho_{\tau} \text{ кг/с.} \quad (9.4)$$

Давление, создаваемое эжектором, необходимо для транспортирования загрузки из верхней части сооруже-

ния в нижнюю. Скорость движения воды с твердым телом должна быть больше скорости витания гранул и обеспечивать преодоление гидростатического давления воды в водоеме. Промывной блок можно рассчитывать по методике, предложенной Е.Я. Соколовым, Н.М. Зингером [11], с учетом физических свойств пенополистирола.

Прилотинное водозаборно-очистное устройство из поверхностных источников, предотвращающее попадание рыбы в береговые колодцы и трубопроводы насосных станций, показано на рис. 9.10. Конструкции таких водозаборов связаны с известными конструкциями гибких плотин из прочных синтетических тканей, устраиваемых на небольших водотоках для создания напора воды на них [12]. Известны также прилотинные водозаборы в виде водоприемных отдельных или совмещенных с насосной станцией колодцев и русловых оголовков фильтрующего типа [13].

Рациональным решением применительно к малым водотокам является прилотинный водозабор в виде мягкой перемычки, несущих капроновых тросов и отводящего рукава [14]. Их недостаток — необходимость устройства специальных береговых сооружений очистки воды, если качество воды в реке не удовлетворяет требованиям потребителей, и утилизации образующихся осадков. Снижение капитальных и эксплуатационных затрат на забор и очистку воды из поверхностных водотоков, повышение эффективности рыбозащиты можно достичь, если верхнюю прибрежную часть гибкой тканевой плотины изготавливать перфорированной с размерами пор меньше размера гранул загрузки. Под плавающей загрузкой расположена продольная горизонтальная щель в теле плотины, периодически открываемая и закрываемая со служебного мостика пластичным шарнирным затвором. Очищенную воду отводят через раструбную камеру и гибкий шланг в береговой резервуар чистой воды. Под горизонтальной плоской верхней стенкой фильтра размещена распределительная система из перфорированных шлангов, соединенная с напорным водоводом от берегового насоса, подающего очищенную воду потребителям.

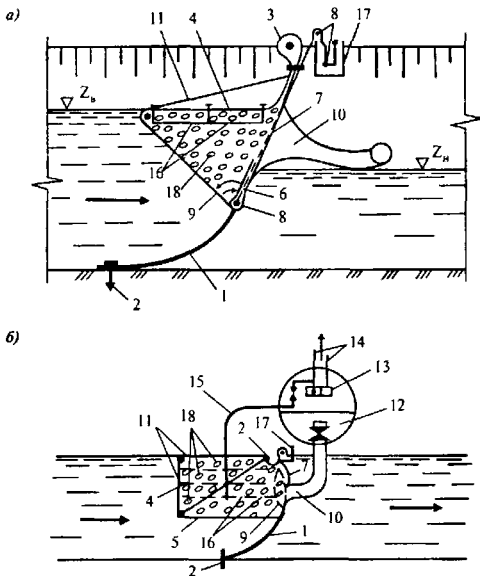


Рис. 9.10. Приплотинное водозаборно-очистное устройство

На рис. 9.10 а), б) показаны соответственно боковой продольный разрез и план сверху приплотинного водозаборно-очистного устройства, состоящего из гидравантовой плотины 1 с элементами ее крепления в водотоке 2, 3; горизонтальной плоской стенки 4 и боковой вертикальной, заглубленной в водоток на глубину более полутора высоты фильтра; стенки 5 с вантовыми растяжками 11; щели 6 в нижней подфильтровой стенке плотины, перекрываемой с помощью троса 7 и шарниров 8 пластичным

тканевым затвором 9, фильтрующего слоя загрузки 18, камеры с коллектором 10 для отвода очищенной воды; берегового резервуара чистой воды 12 с насосом 13, подающим очищенную воду потребителям по трубе 14 и на промывку фильтра по трубе 15, распределительной системы фильтра из дырчатых шлангов 16, служебного мостика 17.

В результате разности отметок воды в верхнем и нижнем бьефе водотока $\nabla Z_{\text{в}} - \nabla Z_{\text{н}}$, создаваемой плотиной, происходит фильтрование воды через плавающую загрузку. Очищенная вода через гибкий коллектор очищенной воды 10 поступает в береговой колодец 12, а далее — насосом 13 подается потребителям. Нижняя поперечная щель в гибкой плотине под фильтрующей загрузкой закрыта гибким затвором 9. С загрязнением загрузки, возрастанием потерь напора в ней, снижением расхода очищенной воды, задвижку на гибком трубопроводе фильтра в колодце закрывают, открывая затвор 9, с помощью системы шарниров и тросов 7, 8.

При этом одновременно подают по трубопроводу 15 под давлением воду в систему перфорированных шлангов 16. Распределяясь равномерно по площади фильтра, вода под давлением устремляется вниз, в зону пониженного сопротивления, расширяет загрузку, вымывая загрязнения из нее, которые с промывной водой через щель 6 сбрасываются в нижний бьеф и уносятся течением. После 5...6 мин промывки подача воды по трубе 15 прекращается, затвор 9 закрывает щель 6, открывается задвижка на трубе 10, и процесс очистки воды в русле и забор ее в колодец продолжается.

Технико-экономические преимущества предлагаемого устройства обеспечиваются исключением строительства капитальных сооружений для очистки воды и утилизации осадка на берегу, сокращением затрат электроэнергии на очистку, благодаря естественному подпору воды в водоисточнике, повышением надежности рыбозащиты (нет попадания даже мальков рыб во всасывающую камеру насосов), предотвращением абразии насосов наносами. Недостатки таких конструкций водозаборно-очистных сооружений: ограниченные возможности достижения эф-

фекта безреагентной одноступенчатой очистки при высоких скоростях фильтрования воды, малая грязеемкость фильтрующего слоя (что требует частых промывок и большого расхода промывной воды). Увеличения фильтроцикла можно достичь за счет снабжения водозаборно-очистных устройств водонепроницаемой кольцевой диафрагмой, разделяющей корпус на верхнюю и нижнюю камеры вертикально установленной водонепроницаемой перегородкой, которая, в свою очередь, разделяет камеры на подающий и отводящий отсеки. Слой крупнозернистой загрузки расположен в верхней камере, а мелкозернистой — в нижней; сборно-распределительная система имеет вертикальные коллекторы, установленные в подающем и отводящем отсеках (рис. 9.11).

Водозаборно-очистное устройство состоит из цилиндрического корпуса 1, разделенного кольцевой диафрагмой 2 на две камеры — верхнюю 3 и нижнюю 4. Камеры заполнены плавающей загрузкой. Верхняя камера 3 запол-

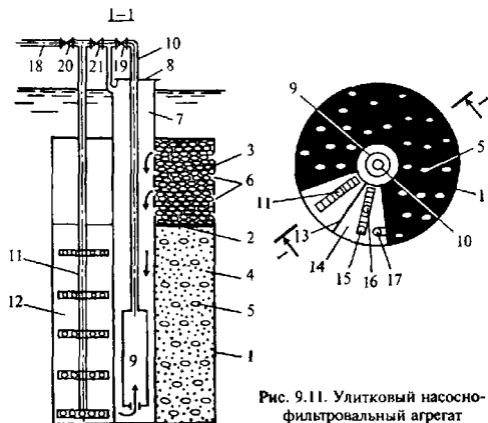


Рис. 9.11. Улитковый насосно-фильтровальный агрегат

нена однородной крупногранульной загрузкой с размерами гранул 8...9 мм; нижняя камера 4 заполнена загрузкой так, что размеры гранул убывают в направлении движения фильтруемой воды от 6 до 2 мм. Наружная и внутренняя образующие поверхности верхней камеры 3 выполнены перфорированными с отверстиями 6, размеры которых меньше диаметра гранул загрузки. Вода поступает в верхнюю камеру 3 через отверстия 6 за счет разности давлений столба жидкости над корпусом 1 и разрежения в приемной камере 7. Вода проходит в верхней камере 3 через плавающую загрузку 5 крупностью 8...9 мм и очищенная от крупной взвеси поступает в приемную камеру 7. Из приемной камеры 7 вода погружным насосом 9 по водоподъемному трубопроводу 10 поступает в вертикальный коллектор 11 сборно-распределительного дренажа, который распределяет воду по фильтрующей загрузке 5 в нижней камере 4. Благодаря конструкции вертикального распределительного дренажа фильтрование воды в нижней камере 4 происходит по окружности. Проходя по окружности, вода фильтруется через плавающую загрузку последовательно через слои с убывающей крупностью от 6 до 2 мм и очищенная поступает в отводящий отсек 14, из которого по вертикальному коллектору 15 сборного дренажа и трубопроводу 16 отвода фильтрата поступает к потребителю. При фильтровании задвижка 20 на трубопроводе 18 для отвода промывной воды закрыта.

Промывают фильтрующие слои верхней (3) и нижней (4) камер очищенной водой противотоком по отношению к направлению процесса фильтрования вследствие разности уровней в баке водонапорной башни на берегу и горизонта воды в реке (возможен вариант с промывным насосом). Промывку фильтрующего слоя в нижней камере 4 осуществляют подачей профильтрованной воды по трубопроводу 16 в вертикальный коллектор 15. На период промывки насос 9 выключают. Обратный клапан 19 на водоподъемном трубопроводе 10 препятствует попаданию промывной воды в приемную камеру 7. Загрузку отмывают без расширения плавающей загрузки в направлении возрастающей крупности загрузки, а следовательно, и порового пространства.

Промывная вода по вертикальному коллектору 11 сборного дренажа поступает в трубопровод 18 отвода промывной воды с открытой задвижкой 20. Промыв нижнюю камеру 4, задвижку 20 закрывают и открывают задвижку 21, создавая давление в приемной камере 7, для промывки фильтрующей загрузки в верхней камере 3 и выноса загрязнений в реку через отверстия 6. Промывку ведут контрольно-автоматическим прибором КЭП-12У.

Предлагаемое водозаборно-очистное устройство по сравнению с известным обеспечивает повышение качества фильтрата при двухступенчатой очистке воды и заборе верхнего слоя водотока, менее загрязненного. Грязеёмкость предлагаемого устройства повышается за счет заполнения верхней камеры крупногранульной загрузкой 8...6 мм и нижней камеры загрузкой с убывающей крупностью гранул в направлении фильтрования 4...2 мм. Такое размещение загрузки и дренажная сборно-распределительная система с вертикальными коллекторами способствуют увеличению продолжительности фильтроцикла с сокращением количества промывок и расхода промывной воды.

Устойчивую работу насоса без кавитации обеспечивает заполнение верхней камеры однородной крупногранульной загрузкой; при этом вероятность ее кольматации уменьшается, сопротивление загрузки ничтожно мало, что повышает надежность работы в режиме разряжения, и, кроме того, на насос поступает вода, очищенная от плавающих загрязнений и крупной взвеси. Верхняя перфорированная камера водозаборного устройства исключает попадание мальков рыб в приемную камеру. Повышается надежность работы предлагаемого устройства с функциями водозабора, рыбозащиты и очистки воды.

Для повышения качества воды и отмывки загрузки фильтра, работающего непосредственно в водонсточнике, снижения ее заиляемости, повышения надежности рыбозащиты предложено также устройство (рис. 9.12), состоящее из корпуса 1, заполненного плавающей фильтрующей загрузкой 2, со струенаправляющим козырьком 3. Водоприемная часть устройства, перекрытая козырьком 3 и

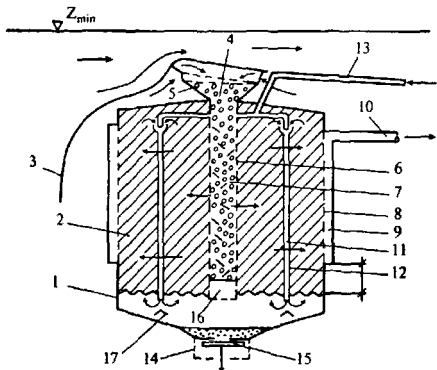


Рис. 9.12. Устройство для забора воды радиального типа

сеткой 4, располагается в верхней части корпуса 1 и выполнена в виде наклонного эллипсоидального раструба 5, переходящего в центральную дренажную камеру 6. Раструб 5 и центральная дренажная (распределительная) камера 6 заполнены псевдоожиженным слоем 7 из легких прочных гранул с плотностью меньше плотности воды (полувспененный полистирол). Непрерывное движение гранулированного слоя 7 отпугивает рыб от водоприемной камеры и предотвращает кольматацию сетки 4 и внутренней боковой поверхности дренажной камеры 6, нижняя часть которой перекрыта сеткой 16 и выведена за пределы слоя фильтрующей загрузки 2 для выноса взвеси в нижнюю часть корпуса 1. Осветленная вода собирается периферийной дренажной системой 8 в водоприемный карман 9. Отвод осветленной воды производится трубопроводом 10. Фильтрующая загрузка регенерируется эжекторными устройствами 11, на внутренней поверхно-

сти трубопроводов которых расположены битеры 12 для интенсификации соударений гранул одних с другими и оттирания загрязнений с их поверхности. Функционируют эжекторные устройства 11 благодаря подаче воды по трубопроводам 13 от насосов первого подъема. Для предотвращения образования застойных, не регенерируемых зон фильтрующей загрузки 2, а также для возможности очистки поверхности периферийной дренажной системы 8 эжекторные устройства 11 размещены внутри фильтрующего слоя на расстоянии от центральной вертикальной оси, равном $2/3$ радиуса устройства. В нижней части корпуса 1 в открытом перфорированном патрубке 14 размещен полый клапан 15, свободно перемещающийся между верхним и нижним фиксаторами, и отбойные щиты для отражения и изменения траектории всплытия отмытых гранул фильтрующей загрузки 2. Козырек 3 служит для предотвращения загрязнения сетки 4 сором и грубыми взвешенными веществами, создания повышенных скоростей в зоне водоприема и защиты устройства от плавающих предметов.

Благодаря вакууму, создаваемому насосом в трубе 10, происходит радиальная фильтрация, при которой клапан 15 находится в верхнем положении и перекрывает сечение патрубке 14, предотвращая подсос воды из придонного пространства. Нижний слой загрузки толщиной L_3 является защитным, предотвращает контакт чистой воды и осадка, накапливаемого в конусе днища.

Фильтрующая загрузка 2 регенерируется постоянно или периодически в зависимости от мутности исходной воды подачей по трубопроводу 13 воды от береговой насосной станции. Образующийся при этом вакуум в верхней части эжекторных устройств 11 обеспечивает захват плавающей загрузки 2, а давление воды, создаваемое в эжекторных устройствах 11, позволяет транспортировать при одновременном соударении о битеры 12 гранулы загрузки 2 в нижнюю конусную часть корпуса 1. С накоплением осадка его вес начинает превышать выталкивающую силу клапана 15; он опускается на нижние фиксаторы, открывая отверстия в боковой поверхности патрубке 14.

Осадок в этот период выносится в водоток и смывается течением. С включением устройства в режим фильтрования клапан всплывает, снова перекрывая выходное отверстие. Устройство обеспечивает качественную отмывку фильтрующей загрузки, оставляя шлам в пределах водотока; исключается применение специальных регенерирующих устройств, повышается производительность.

9.4. Водоочистные устройства береговых водозаборов

Фильтрующие кассеты с перфорированным основанием, заполненные гранулами пенополистирола и имеющие систему промывки, могут быть использованы на водозаборах практически любой производительности независимо от назначения системы водоснабжения [8]. Схема одного из таких водозаборов показана на рис. 9.13. Водоприемник для забора воды содержит камеру 1 с приемными окнами 2, которые перекрыты шиберами 3 и фильтрующими кассетами 4. В кассете установлена система промывки, включающая напорный патрубок 6, насадок 7, коллектор 8 с лучевыми подводными трубками 9, цилиндрический патрубок 10 с винтообразной вставкой на конце. Напорный патрубок 6 соединен с трубопроводом 12 промывочной воды и регулирующей задвижкой 13. Подъем и спуск шибера производится грузоподъемным механизмом 14. В нормальном режиме шибер 3 поднят, вода проходит через фильтрующие кассеты 4 в камеру 1 и к потребителю. Со временем наполнитель фильтрующих кассет с плотностью меньше плотности воды (гранулы пенополистирола) засоряется, требуя промывки. Для этого шибер 3 опускают, открывают задвижку 13 на трубопроводе 12 промывочной воды и подают промывочную воду через напорный патрубок 6 и насадок 7 в цилиндрический патрубок 10. В конце цилиндрического патрубка 10 струя промывочной воды, расширяясь, встречается с винтообразной вставкой 11 и разделяется на две части. Каждая из

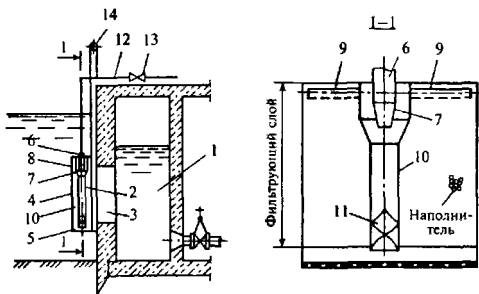


Рис. 9.13. Водозабор с фильтрующими кассетами

частей, соприкасаясь с винтообразной поверхностью вставки *11*, изменяет свое направление по касательной к этой поверхности и закручивается, создавая центробежную силу, под действием которой промывная вода отбрасывается от центра к периферии. Происходит перекрытие поперечного сечения цилиндрического патрубка *10*, а в центральной части вдоль цилиндрического патрубка *10* создается область пониженного давления. Под действием абсолютного гидростатического давления гранулы наполнителя кассеты *4* через лучевые подводящие трубки *9* и коллектор *8* поступают в цилиндрический патрубок *10*, где они смешиваются с промывной водой из насадки *7*. Смешанный и закрученный поток выходит из цилиндрического патрубка *10*, и через перфорацию в основании *5* жидкая фракция потока удаляется из кассеты *4*, а очищенные от загрязнений гранулы наполнителя всплывают в верхнюю часть кассеты. Загрязненные гранулы полистирола при движении с момента всасывания в лучевые подводящие трубки *9* и до соударения с перфорированным основанием *5* кассеты *4* испытывают многократное воздействие от потока промывной воды, движущегося с

большой скоростью, и от самих гранул, которые соударяются одни с другими и с внутренними поверхностями промывной системы, испытывая трение. В результате гранулы фильтрующего материала кассеты 4 быстро очищаются от загрязнений, сокращая время промывки. Описанные конструкции кассет можно использовать при строительстве новых водозаборных сооружений и при реконструкции существующих без значительных материальных затрат.

Эффект очистки воды при отборе из источника через водоприемные окна береговых колодцев повышается заменой плоских фильтрующих кассет объемными фильтрующими элементами (вращающиеся фильтрующие барабаны с легким наполнителем в виде цилиндров и трапеций). Используя уникальные свойства легких гранулированных наполнителей, такие установки несложно оборудовать системами автоматики, увязав работу водоприемника с работой механического оборудования береговых колодцев и насосов первого подъема. На рис. 9.14 представлены примеры таких технических решений.

Береговые водозаборы фильтрующего типа (рис. 9.14 а) состоят из приемно-всасывающей камеры 1 с приемным клапаном 2 насоса 3, сетчатой емкости 4 в виде барабана, часть объема которого заполнена плавающей зернистой фильтрующей загрузкой 5. Емкость 4 содержит горизонтальную трубу 6, кинематически связанную с устройством ее периодического поворота. Привод 7 расположен в корпусе 8. Горизонтальная труба 6 установлена концентрично на неподвижную водоприемную трубу 9 с водоприемными отверстиями в нижней части. Кроме того, водозабор содержит сорозадерживающую решетку 10, датчики 11 перепада уровней (тензорезисторные датчики давления), встроенные в стенку приемно-всасывающей камеры 1 и измеряющие давление воды внутри камеры и снаружи, а также блок 12 управления. Горизонтальная труба 6 закреплена на подшипниках возле сорозадерживающей решетки 10 и стенки приемно-всасывающей камеры 1. В месте соприкосновения с фильтрующей загрузкой 5 эта труба – сетчатая. Водоприемная труба 9 жестко

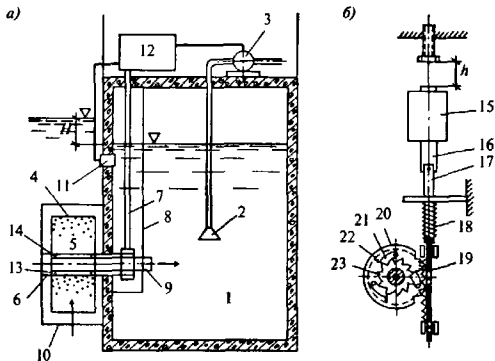


Рис. 9.14. Береговой водозабор с сетчатой емкостью, заполненной плавающей фильтрующей загрузкой

а) – водоприемный колодец; *б)* – устройство для периодических поворотов сетчатой емкости

закреплена одной стороной в корпусе 8, а другой в сородерживающей решетке 10, причем со стороны сородерживающей решетки 10 водоприемная труба 9 закрыта заглушкой. Сетчатая емкость разделена сплошными перегородками 13, 14 на несколько секций, частично заполненных плавающей фильтрующей загрузкой 5. Устройство для периодических поворотов сетчатой емкости (рис. 9.14 б) состоит из соленоида 15 с сердечником 16, тяги 17, пружины возврата 18, зубчатой рейки 19, зубчатого венца 20, собачек 21 с пружинами 22, храповика 23 и ограничительного болта.

Структурно блок управления состоит из панели управления (коммутационная аппаратура, устройства, задающие разности уровней воды внутри приемно-всасывающей камеры и в источнике, минимального уровня воды в приемно-всасывающей камере), станции управления сет-

чатой емкостью, датчика положения сетчатой емкости, преобразователя разности уровней вне и внутри приемно-всасывающей камеры; а также преобразователя уровня внутри приемно-всасывающей камеры и станции управления насосом. Управление сетчатой емкостью и насосом осуществляют типовые станции управления двигателями, включая подключение, отключение и их защиту.

При водоотборе на панели управления задают предел разности уровней в водоисточнике и внутри приемно-всасывающей камеры H , соответствующий предельно допустимым потерям давления в фильтрующей загрузке, расположенной в нижней (фильтрующей) секции сетчатой емкости. При работе насоса плавающая фильтрующая загрузка в нижней (фильтрующей) секции сетчатой емкости осветляет воду, поступающую в приемно-всасывающую камеру.

При фильтровании поры загрузки нижней секции сетчатой емкости постепенно забиваются загрязнениями, увеличивая разности уровней воды H в источнике и в приемно-всасывающей камере, контролируемой датчиком. Сигнал о заданной величине H , установленной на панели управления, поступает на станцию управления сетчатой емкостью. Туда же поступает сигнал датчика контроля уровней воды через преобразователь. При достижении заданной величины H станция управления выдает команду на поворот сетчатой емкости путем подачи электрического импульса на обмотку соленоида.

При повороте сетчатой емкости на одну секцию воду начинает осветлять новая, очищенная фильтрующая загрузка. В результате снижения потерь напора в новой загрузке разница уровней в источнике и в приемно-всасывающей камере уменьшается, процесс осветления воды продолжается. Для защиты насоса при возможном опускании уровня воды в приемно-всасывающей камере ниже предельно допустимого (ниже приемного клапана) по сигналу контроля перепада уровней через преобразователь на станцию управления насосом поступает команда на отключение насоса.

Предлагаемый береговой фильтрующий водозабор обеспечивает непрерывную работу водозаборных соору-

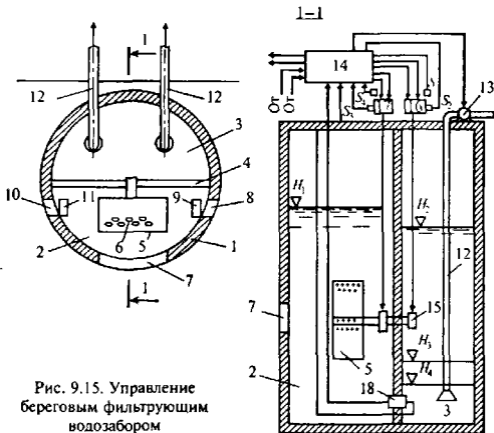


Рис. 9.15. Управление береговым фильтрующим водозабором

жений и осветление воды в месте ее забора. Это упрощает схему подготовки воды. Отпадает необходимость в устройствах промывки фильтрующей загрузки и создании емкостей хранения промывной воды, а также промывке приемно-всасывающей камеры, что уменьшает ее размеры и строительную стоимость сооружения.

Устройство для забора воды, состоящее из колодца 1, разделенного на водоприемную камеру 2 и камеру 3 всасывающих труб перегородкой 4, показано на рис. 9.15. В водоприемной камере 2 расположен сетчатый барабан 5 с фильтрующей загрузкой 6, а в стенке водоприемной камеры 2 образованы водоприемные отверстия 7, входное придонное отверстие 8 с гидрозатвором 9 и выходное придонное отверстие 10 с гидрозатвором 11. В камере 3 расположены всасывающие трубы 12, подключенные к насосу 13, соединенному с блоком 14 управления. Клапан 15 установлен на конце от-

водящей трубы сетчатого барабана 5, а исполнительное устройство 16 клапана соединено с блоком 14 управления, причем работа клапана осуществляется с помощью конечных выключателей S_1 и S_2 исполнительного устройства 16; поворот сетчатого барабана 5 — конечными выключателями S_3 и S_4 исполнительного устройства 17 барабана, а работа привода гидрозатворов 9 и 11 — конечными выключателями S_5 и S_6 . К блоку 14 управления подключен датчик 10 уровней воды, размещенных в нижней части перегородки 4.

Блок 14 управления содержит панель оператора, дифференциальный усилитель, компараторы, счетчик поворотов барабана, датчик числа поворотов барабана, таймер, задатчик таймера и логическую часть. В качестве дифференциального усилителя может быть использован любой стандартный операционный усилитель с дифференциальными входами (например К 553 УД 2; К 120 УД 1Б). В качестве компараторов применены микросхемы К 554 СА2 или операционные усилители (например К 140 УД 1Б). В качестве счетчика поворота барабана, а также таймера использованы серийные микросхемы К 155 ИЕ7. Оба задатчика реализованы на переключателях, например П2К.

Логическая часть блока управления из серийных интегральных микросхем (например серии К 155) включает логические элементы И-НЕ, трактующиеся D-триггеры, дешифратор, элементы усиления. Принципиальную электрическую схему логической части проектируют на базе синтеза цифровых автоматов. Блок 17 управления может быть реализован на любом программируемом устройстве автоматики: программируемом контроллере, микропроцессорном наборе, микроЭВМ.

При работе насоса 13 в камере 3 колодца 1 уровень H_2 понижается; под действием перепада $H_1 - H_2$ вода из камеры 2 проходит через сетчатый барабан 5 с фильтрующей загрузкой и осветленная попадает через открытый клапан 15 в камеру 3. При заборе воды фильтрующая загрузка 6 в барабане 5 постепенно загрязняется, приводя к увеличению потерь напора в барабане и, следовательно, к увеличению перепада уровней $H_1 - H_2$. Если перепад достигает допустимого значения ΔH , то по сигналу блока 14 управления клапан 15 перекрывает выход во-

ды из трубы сетчатого барабана 5. При этом замыкается конечный выключатель S_1 . Одновременно срабатывает привод гидрозатворов 9 и 11, открывая их. С открытием гидрозатворов замыкается конечный выключатель S_5 . Затем по сигналу блока 14 управления включается двигатель устройства 17 для поворота барабана. Вращение барабана с загрузкой при открытых гидрозатворах 9 и 11 приводит к вихревому вращению воды внутри камеры 2 и выносу осадка из колодца через отверстия 8 и 10 с одновременной промывкой фильтра в сетчатом барабане. При этом подача воды из камеры 3 продолжается. Вращение сетчатого барабана контролируют конечные выключатели S_3 и S_4 , установленные в крайних положениях барабана. С прекращением вращения барабана блок 14 управления обеспечивает заданное на панели оператора время для оседания взвеси в водоприемной камере 2, после чего гидрозатворы 9 и 11 закрывают отверстия 8 и 10, открывая клапан 15. Процесс осветления воды продолжается после выдержки, заданной таймеру задатчиком с панели оператора.

9.5. Комбинированные водозаборно-очистные комплексы и станции заводского изготовления

Поверхностные воды для групповых водопроводов Ставрополя, Средней Азии, Азербайджана, Ростовской области, Кубани и других южных регионов СНГ превышают 60 % водоотбора. Большая часть поверхностных вод здесь отличается высоким содержанием взвешенных частиц — от 1,5 до 20 г/л. Такие воды обычно очищают по трехступенчатой схеме в громоздких и дорогостоящих радиальных и горизонтальных отстойниках и песчаных фильтрах. Строительство и эксплуатация их чрезвычайно сложны, особенно в отдаленных регионах. Стоимость комплекса водоочистки высока и составляет 30...35 % общей стоимости групповых водопроводов.

В 1970—80 гг. в АзНИИ водных проблем И.С. Бабаев с коллегами разработали и внедрили безреагентную тех-



Рис. 9.16. Плавающий водозабор-осветлитель на р. Кура

нологию очистки высокомутных вод с использованием плавающего водозабора-осветлителя (ПВО) [15]. По этой технологии осветлитель с наклонными тонкослойными модулями с плавучей насосной станцией образует единый комплекс — плавающий водозабор-осветлитель — гидротехническое сооружение нового типа (рис. 9.16). ПВО предварительно осветляет воду непосредственно в водоисточнике с последующей ее подачей по водоводам в очистные устройства. ПВО отличается компактностью, простотой монтажа и эксплуатации, надежностью в работе; забор воды осуществляют с постоянных глубин независимо от режима и уровня воды в реке.

Осветлитель является одновременно рыбозащитным устройством; защищает насосные агрегаты от абразивного действия песчаных частиц, значительно повышая срок их службы. Преимущество ПВО — исключение накопления осадка благодаря непрерывному рассеянию осевшей взвеси течением потока; наносы не скапливаются на дне под осветлителем, позволяя полностью отказаться от сооружений для обработки и утилизации осадка после предварительного осветления воды, сократить расход воды на собственные нужды, увеличив вследствие этого подачу ее потребителям. Одновременно исключается отвод сельскохозяйственных земель под очистные сооружения, повышается производительность труда.

Производственные испытания ПВО в период весенних паводков на р. Кура показали достаточно высокую его эффективность при удельной производительности, в 5–6 раз превышающей производительность широко применяемых

радиальных и горизонтальных отстойников. При удельной нагрузке $20...30 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$, содержании взвешенных частиц в исходной воде $C_0 = 1782...7356 \text{ мг/л}$ и в осветленной — $C_{\text{осв}} = 1022...3960 \text{ мг/л}$ эффект осветления изменялся в пределах $43...56 \%$, гидравлическая крупность частиц, задерживаемых осветлителем, составляла $0,12...0,15 \text{ мм/с}$. Основным технологическим узлом установки является тонкослойный отстойник системы АзНИИВП-2, позволяющий увеличивать производительность водоочистных устройств в 3—4 раза.

Испытания отстойника АзНИИВП-2 в пик паводка показали, что расход воды на удаление осадка из осадочной части устройства составляет лишь $0,5...1,5 \%$ производительности установки. Рабочий объем благодаря совмещению зон отстаивания, хлопьеобразованию и осадочной части используют в отстойнике АзНИИВП-2 весьма рационально. Удельная нагрузка на 1 м^2 площади отстойника АзНИИВП-2 составляет $10...12 \text{ м}^3/\text{ч}$, в 3—4 раза превышая нагрузку горизонтальных отстойников и осветлителей со взвешенным осадком. Эффект осветления достигает $99,4...99,96 \%$ при исходном содержании взвешенных веществ $2...3,8 \text{ г/л}$.

Глубокая очистка воды достигается в завершающем технологическом узле установки — скорых фильтрах с фильтрующей загрузкой из клиноптилолита. Современные требования охраны окружающей среды и необходимость снижения эксплуатационных затрат стимулировали создание безреагентной технологии водозабора и очистки, основанной на использовании плавучего водозабора-осветлителя и береговой установки в виде модернизированных фильтров с плавающей загрузкой ФПЗ-2, располагаемой в стволе водонапорной башни [3]. Варианты компоновки таких установок показаны на рис. 9.17.

Дальнейшее развитие этого направления привело к созданию компактной плавучей водоочистной установки «пilot-фильтр» [15] для получения воды питьевого качества непосредственно в месте ее забора. В основу теоретических предпосылок создания таких установок легли закономерности процессов осаждения взвеси, содержащейся в высокомутных водах рек южных регионов и процессов осветления воды в плавающем фильтрующем слое [2].

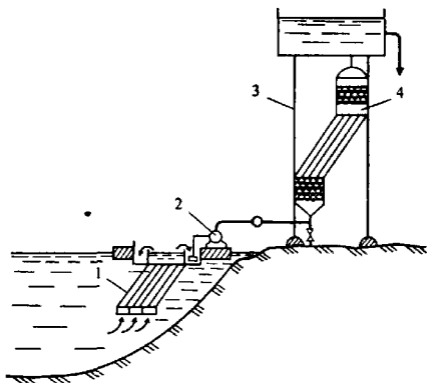


Рис. 9.17. Предлагаемая технология очистки высокомутных вод:

1 — плавучий водозабор-осветлитель; 2 — насос; 3 — водонапорная башня; 4 — «Струя» с плавающей загрузкой

Конструкция плавучей водозаборно-очистной установки «плот-фильтр» показана на рис. 9.18. При включении установки 2 вода из водоема через открытую донную часть и перегородки 8 равномерно поступает во входные отверстия наклонных элементов осветлителя 7, в которых осаждаются грубодисперсные частицы взвеси. Предварительно осветленная вода поступает в свободный объем 18, где в начальной зоне плавающей загрузки укрупняются мелкодисперсные частицы взвеси. Восходящим потоком вода поступает в фильтр 9 с загрузкой 10 из вспененного полистирола (ленополистирола), где осуществляется ее окончательная очистка. Очищенная вода через щелевую насадку 13 равномерно поступает в водосборные желоба 16, по напорному трубопроводу и отводящей линии 6 — на берег для ее обеззараживания и подачи потребителям. Осаж-

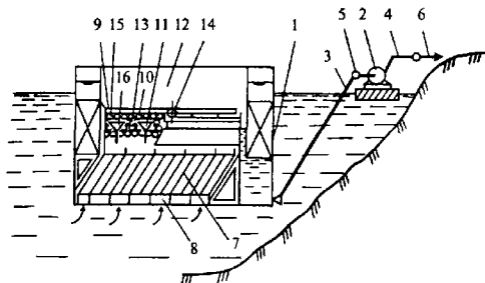


Рис. 9.18. Плавающая водоочистная установка «Плот-фильтр»
(а.с. СССР № 1581343)

дающиеся на стенках наклонных тонкослойных элементов осветлителя 7 взвешенные вещества непрерывно сползают из них на выход и уносятся потоком. Заиленная загрузка 10 промывается через коллектор с ответвлениями 14 и патрубками 15; воду на промывку подают из берегового резервуара чистой воды. Движущаяся вниз вода расширяет плавающую загрузку 10, зерна ее интенсивно трутся между собой и об стенку фильтра 9. После окончания промывки и отвода промывной воды технологический цикл повторяется.

Камеры фильтра создают открытую (безнапорную) водоотводящую систему равномерного отвода осветленной фильтрованной воды в водосборные желоба, образованные смежными камерами в верхней части. Поскольку камеры в нижней части сообщаются через сквозные прорези, то между выходными отверстиями наклонных элементов тонкослойных модулей и обратным фильтром образуется свободный объем воды, работающий как зона интенсификации процесса при укрупнении мелкодисперсных частиц взвешенных веществ, попадающих в эту зону из тонкослойных модулей в начальной зоне плавающей загрузки. Это способствует максимальному использо-

Таблица 9.11.

Результаты производственных испытаний

$T, ^\circ\text{C}$	$C_{\text{вх}}$ мг/л	$C_{\text{осв}}$ мг/л	$Z, \%$	$t, \text{ч}$	$C_{\text{осв}}$ расчетное, мг/л	$Z_{\text{расч}}, \%$	Среднее отклоне- ние $\delta, \%$
19	400...450	12...15	97	28	8,5	98,1	1,12
19	530...600	17...20	96,8	28	9,5	98,4	1,03
18	2700...2800	35...38	98,7	36	42,5	98,5	0,2
17	3050...3130	40...42	98,7	36	48	98,5	0,2
16	4100...4270	90...93	97,8	32	98,7	96,7	0,1
16	3470...3530	45...50	98,7	32	57,3	98,4	0,3
15	2400...2510	26...30	98,9	22	24	99	0,1
15	1520...1600	18...22	98,8	22	12	99,2	0,4

ванию рабочего объема устройства. Каждая пара камер фильтра и тонкослойный модуль под ними образуют конструктивный элемент, где осуществимы все технологические процессы – от забора до отвода очищенной воды. Для предотвращения повторного загрязнения воды зеркало осветленной воды изолируют остекленными перегородками.

Производственные испытания установки выполнены Э.С. Ганбаровым на воде канала, питающегося из р. Аракс. В период испытаний температура воды была 15...19 °С, концентрация взвешенных веществ – 400...4270 мг/л, жесткость 6,5...7,5 мг-экв/л. Установку оборудовали тонкослойными модулями из полиэтиленовых трубок диаметром 50 мм и длиной до 3 м. Высота слоя пенополистирольной загрузки составляла 0,3 м при эквивалентном диаметре гранул 1,2 мм и коэффициенте неоднородности загрузки 2,8. Производительность установки при удельной гидравлической нагрузке 2,5 м³/ч·м² составила 180 м³/сут. Результаты испытаний приведены в табл. 9.11 и на рис. 9.19 и 9.20. Как видно из табл. 9.11, содержание взвешенных веществ в ос-

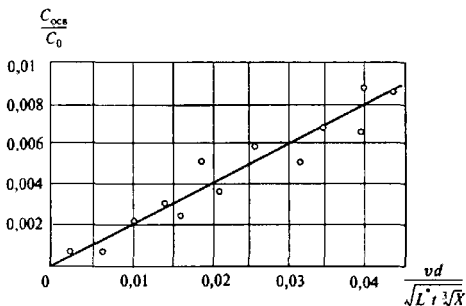


Рис. 9.19. Изменение концентрации взвешенных веществ на установке

$$\frac{C_{осв}}{C_0} = f\left(\frac{vd_3}{\sqrt{L \cdot t} \sqrt[3]{X}}\right)$$

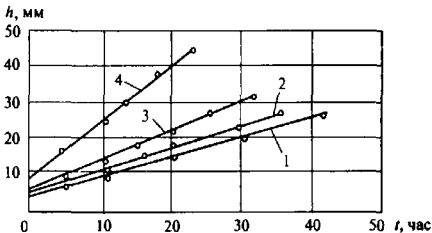


Рис. 9.20. Прирост потерь напора в загрузке:

1 — при $C_0 = 160$ мг/л; $C_{осв} = 1,5$ мг/л; $v = 0,4$ м/ч; $X = 70$ см; $d_{зкв} = 0,6$ мм; 2 — при $C_0 = 140$ мг/л; $C_{осв} = 1,5$ мг/л; $v = 0,45$ м/ч; $X = 65$ см; $d_{зкв} = 0,6$ мм; 3 — при $C_0 = 260$ мг/л; $C_{осв} = 1,5$ мг/л; $v = 0,7$ м/ч; $X = 70$ см; $d_{зкв} = 0,6$ мм; 4 — при $C_0 = 450$ мг/л; $C_{осв} = 30,0$ мг/л; $v = 2,2$ м/ч; $X = 65$ см; $d_{зкв} = 0,8$ мм;

ветленной воде в производственных условиях практически близко к расчетным показателям, определенным по зависимости, полученной при изучении закономерностей процесса осветления воды на модельной установке.

Результаты производственных испытаний установки «Плот-фильтр» при содержании в исходной воде канала им. Орджоникидзе от 400 до 4270 мг/л взвешенных веществ показали надежность и устойчивость технологического процесса очистки воды. Остаточное содержание взвешенных веществ в осветленной воде после доочистки фильтрованием на береговой установке с загрузкой из клиноптилолита находилось в пределах 1...1,5 мг/л, что отвечает требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. Испытания плавучей водоочистной установки в системе водоснабжения колхоза в Агджабединском районе показали ее простоту в эксплуатации всего комплекса водоочистной станции; отпадает обработка и утилизация осадка.

Для водоснабжения населенных пунктов с водопотреблением до 1500 м³/сут можно использовать водозаборно-очистную станцию, представленную на рис. 9.21. Изготовленная в заводских условиях, она состоит из цилиндрического корпуса 1, открытого сверху и снизу, сеток 2, спиралеобразного трубчатого тонкослойного отстойника 3, плавающей гранулированной загрузки 4, цилиндрической приемной камеры чистой воды 6 с периферийными отверстиями 5, погружного электронасоса 7, напорного шланга-водовода 8. Корпус с пригрузами 15 (железобетонные полукольца), тросами 10 и крюком соединен с валом 9, приводимым в действие электродвигателем 11, установленным на верхней площадке эстакады 17 с перекрытием 12. Вертикальные стойки 13 в водоисточнике снабжены по кольцевому периметру сеткой 16, между которой и корпусом 1 отсыпан слой 14 вспененного теплоизолятора, предотвращающего примерзание фильтра зимой; такой же слой отсыпан в надфильтровом пространстве и в верхней части приемной камеры насоса.

В рабочем режиме, благодаря пригрузам 15 и собственному весу, устройство подъемным механизмом 9, 10, 11 помещается под уровень воды в водоток на отметку

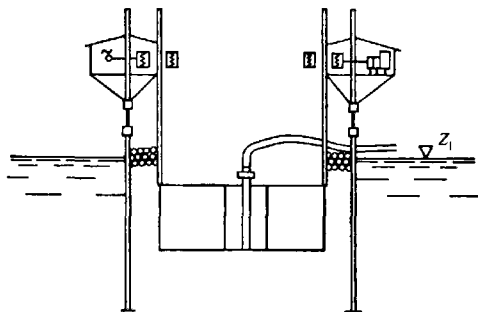
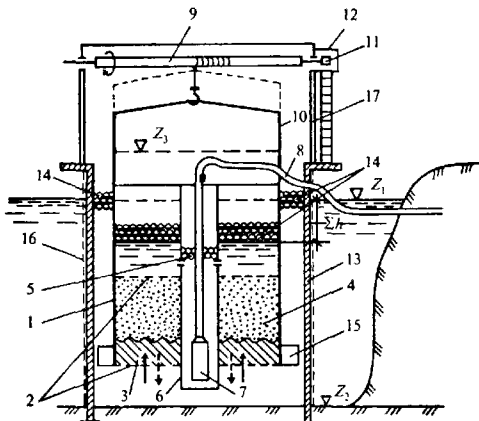


Рис. 9.21. Сборная водозаборно-очистная станция

($Z_q + 1$ м) таким образом, чтобы $H = (Z_1 - Z_2) \geq \geq \Sigma h$, где Σh – сумма потерь напора в нижней и верхней сетках, тонкослойном отстойнике, плавающем фильтре и отверстиях 5 к концу фильтроцикла. Располагаемый напор (H) обеспечивает очистку воды и поступление ее в приемную камеру при работающем насосе, подающем очищенную воду по водоводу 8 в береговой РЧВ. Электроэнергия затрачивается лишь на транспортировку чистой воды в береговой резервуар.

По мере накопления в отстойнике осадок по наклонным стенкам трубок сползает в водоток и уносится потоком. Часть загрязнений задерживается в фильтрующей загрузке. По достижении потерь напора величины h уровень воды в камере 6 начинает понижаться, давая сигнал на автоматическое отключение насоса 7 и включение электродвигателя 11. Последний приводит в действие вал 9 и поднимает с помощью тросов 10 корпус сооружения до отметки Z_3 . Вода, накопленная в надфильтровом пространстве в достаточном для промывки объеме, устремляется вниз, расширяя загрузку и вынося задержанные в ней и в отстойнике осадки в водоток. При необходимости, отключая и включая двигатель 11, можно погружать и поднимать фильтр, повторяя промывку. Интенсивность ее и продолжительность регулируют скоростью подъема фильтра и изменением числа оборотов двигателя. После промывки фильтр от веса пригрузов погружают снова под заданный уровень, включают насос 7, и цикл забора и очистки воды продолжится.

В системах водоснабжения небольшой производительности на водотоках с незначительными колебаниями содержания взвешенных веществ целесообразна конструкция плавающего водозабора фильтрующего типа (рис. 9.22), состоящего из отделения фильтра 1 и емкости 2 для сбора осветленной воды. Отделение фильтра 1 содержит трапециевидальный водослив 3, несущую сетку 4, слой фильтрующей загрузки из легких гранул высотой h , активное сопло 5, закрепленное с помощью кронштейна 6, пассивное сопло 7, днище 8, сетку 9, вертикальные трубы 10 с перфорацией 11, подводящие трубопроводы 12. На осно-

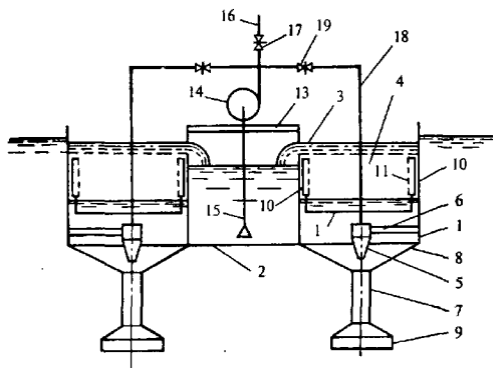


Рис. 9.22. Плавающий водозабор фильтрующего типа

вании 13 размещен насос 14 с всасывающим трубопроводом 15 и водоводом 16 с задвижкой 17. К водоводу 16 присоединен напорный трубопровод 18 с задвижкой 19. Водозабор в открытом водоисточнике удерживается на плаву за счет «архимедовой силы».

Плавающий фильтрующий водозабор в открытом источнике (например в реке) водоводом 16 подключают к системе водоснабжения. Вода из открытого источника через сетку 9, пассивное сопло 7 поступает в отделение фильтра 1 и проходит через слой фильтрующей загрузки, подбираемой из условий достижения необходимого эффекта очистки воды и поддержания водозабора на плаву. Вода, проходя через трапецеидальный водослив 3, перелливается в емкость сбора осветленной воды 2. Из емкости 2 осветленная вода насосом 14 по водоводу 16 направляется потребителю. В таком режиме водозабор работает до засорения фильтра, о чем судят по уменьшению его пропускной способности. Для промывки фильтра задвижку 17 на водоводе 16 закрывают полностью или частично и

открывают задвижку 19. Вода от насоса 14 по напорному трубопроводу 18 будет вначале поступать в активное сопло 5, а затем с большой скоростью выходить в пассивное сопло 7 и через сетку 3 — в источник. В пассивном сопле 7 создается пониженное давление. Под действием разности абсолютного давления в отделении фильтра 1 и пониженного давления в пассивном сопле 7 вода с загрязнениями из нижней части отделения фильтра 1 смешивается со струей, выходящей из активного сопла 5 и направляется в открытый источник, создавая псевдооживленный слой загрузки фильтра. Из напорного трубопровода 18 вода по подводным трубопроводам 12 поступает в вертикальные трубы 10, откуда через перфорацию 11 с большой скоростью направляется в фильтрующую загрузку. Так производится интенсивное перемешивание и качественная промывка фильтрующей загрузки. После промывки фильтра задвижку 19 закрывают.

Описанные выше сооружения не исключают необходимости строительства на берегу специального резервуара чистой воды и устройств для ее обеззараживания с усложнением эксплуатации комплекса сооружений забора, очистки и хранения воды. Расширение функций водозаборно-очистного сооружения и упрощение его эксплуатации достигается устройством дополнительно напорного резервуара чистой воды, размещенным между водоподъемной трубой насоса и водоводом; внутри резервуара смонтирована бактерицидная установка для обеззараживания воды, а на его наружной боковой поверхности — блок автоматического управления электронасосом и бактерицидной установкой (рис. 9.23).

Конструктивно такой комплекс состоит из водозаборно-очистного узла с тонкослойным отстойником 1 и фильтром с плавающей загрузкой 2 с приемной камерой фильтрата 3, погружного электронасоса 4, понтонной платформы 6, напорного резервуара чистой воды 5 с размещенной внутри него бактерицидной лампой 7, автоматической станции управления 8, напорного водовода 9, подключенного к съемной крышке резервуара 10, водоразводящей сети и водонапорной башни. По сигналу от

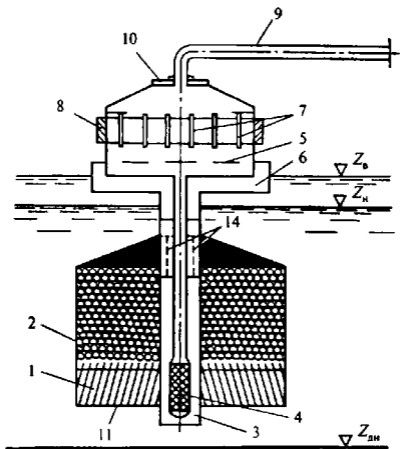


Рис. 9.23. Водозаборно-очистной комплекс с тонкослойным отстойником и бактерицидной установкой

реле времени станции 8 включается насос 4, который, забирая воду из камеры 3, обеспечивает принудительное прохождение воды из водоисточника сначала через сетку 13, тонкослойный отстойник 1, а затем фильтр 2. Очищенная вода через перфорированную поверхность 14 верхней части камеры 3 собирается внутри камеры. При работе насоса преодолевается сопротивление в сетке, отстойнике и водоподъемной трубе. Подаваемая насосом очищенная вода поступает в резервуар 5, где подвергается обеззараживанию бактерицидными лампами 7, а затем по водоводу 9 и разводящей сети идет к водопотребителю. Резервуар 5 рассчитан как регулирующий и запасной для выравнивания неравномерности водопотребления и водоподачи,

хранения запаса воды на случай пожара. По окончании фильтроцикла с заданной продолжительностью реле станции управления 8 подает команду на одновременное отключение электронасоса и бактерицидных ламп на 5...6 мин. После этого, вследствие превышения давления воды внутри напорного резервуара над атмосферным, вода из сети и резервуара обратным током поступает в камеру 3, а оттуда через отверстия 14 — в верхнюю часть фильтра 2. Устремляясь сверху вниз, чистая вода расширяет плавающую загрузку, одновременно вымывая загрязнения из загрузки, отстойника и сетки в водоток. По окончании промывки с заданной продолжительностью реле времени станции 8 дает команду на включение электронасоса и бактерицидных ламп. Цикл забора, очистки, обеззараживания и подачи воды потребителям повторяется. На период отключения насоса вода поступает из водонапорной башни.

Анализ известных и описанных ранее сооружений показывает, что при внедрении последних расширяются их функции, сокращаются затраты на строительство и монтаж резервуара чистой воды на берегу, повышаются компактность, технологичность монтажа, сокращаются соединительные трубопроводы обвязки, отпадает необходимость строительства сооружений по сбору и очистке промывных вод и утилизации осадков водоочистки на берегу, сокращается численность эксплуатационного персонала, работа сооружения полностью автоматизирована. Возрастает надежность рыбозащиты.

Контроль за степенью обезвреживания ведут по анализам воды, отбираемой в начальной точке водовода 9 на берегу. Возможный выход из строя любой из ламп или неисправность насоса контролируются автоматической станцией с помощью тепловых реле и сообщаются персоналу электрическим (звуковыми) аварийными сигналами на диспетчерский пункт. При такой системе сокращается отчуждение земель под сооружения на берегу. Производительность по очищенной воде и надежность работы системы регулируют числом водозаборно-очистных насосных блоков, подключаемых к одному резервуару.

Для дальнейшего расширения функциональных возможностей водозаборно-очистных узлов предполагается создание в них двух- и трехступенчатых схем водоочистки. Первой ступенью при маломутных цветных водах в некоторых случаях целесообразно использовать напорную флотацию, основанную на том, что часть воды, в которой под давлением 0,6...0,8 МПа растворен атмосферный воздух, подают через дырчатую или пористую систему в обрабатываемую воду. Попадая в зону меньшего давления, растворенный воздух выделяется в виде большого количества мелких пузырьков, лифтующих на поверхность легкие взвеси, коллоидные и мелкодисперсные твердые и жидкие примеси, образуя пену.

В Вологодском Государственном техническом университете разработаны конструкции двухступенчатых водозаборно-очистных узлов, на первой ступени которых предусматривается напорно-флотационная обработка воды, а на второй — скорое фильтрование. В первой из этих конструкций в качестве фильтрующей загрузки использован вспененный полистирол (рис. 9.24). Водозаборно-очистной узел состоит из подводной и береговой частей. Подводная часть — открытый сверху короб, расположенный на дне водоема. Верхняя часть короба представляет собой флотационную зону 2, в которую по перфорированной трубчатой системе 12 подается водовоздушная смесь. Под флотационной зоной внутри короба располагается закрытый сверху корпус фильтра 3 с плавающей загрузкой 4, сверху ограничиваемой придерживающим слоем 5. Под фильтрующим слоем предусмотрено промывное пространство 7, ограниченное снизу дном 6. Высоту пространства 7 рекомендуется принимать не менее 30 % толщины фильтрующего слоя. В пределах этого пространства на стенках корпуса предусматриваются оборудованные сетками окна 8. Береговая часть водозаборно-очистного узла представляет собой двухкамерный колодец с павильоном.

Когда водозаборно-очистной узел работает в режиме очистки воды при работающем насосе 18, закрытой задвижке 22 и открытых задвижках 11, 20 и 24, создается перепад уровней УВ в водоисточнике и А — в приемной ка-

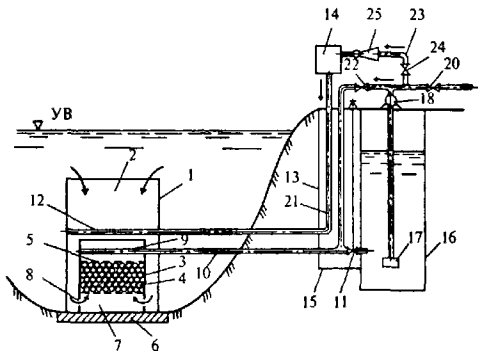


Рис. 9.24. Двухступенчатый водозаборно-очистный узел с фильтрующей загрузкой из вспененного полистирола

мере 16. Этот перепад обеспечивает движение воды сначала сверху вниз через флотационную зону и зазор между коробом 1 и корпусом 3, а затем снизу вверх через фильтрующую загрузку. Так обеспечивается на первой ступени очистки флотационное осветление и обесцвечивание воды с удалением нефтепродуктов, масел и других загрязняющих веществ, а на второй — дополнительное осветление скорым фильтрованием. Для обеспечения требуемого режима напорной флотации часть воды ($\approx 10\%$ общего объема) направляется по трубе 23 в напорный бак 14, туда же подается воздух эжектором 25 либо компрессором.

Для промывки водозаборно-очистного узла закрывают задвижки 11 и 24, открывают задвижку 22. Промывочный поток по трубе 21 направляется в надфильтровое пространство корпуса 3, движется через слой фильтрующей загрузки 4, расширяя этот слой и вынося из него загрязнения, затем промывочный поток движется вверх сначала по зазору между корпусом и коробом, а затем по флотацион-

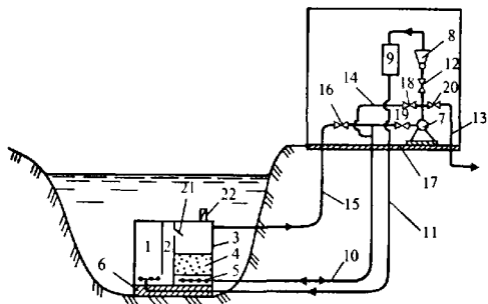


Рис. 9.25. Двухступенчатый водозаборно-очистной узел с фильтрующей загрузкой из кварцевого песка

ной зоне. Конструкция водозаборно-очистного узла с плавающей фильтрующей загрузкой эффективна для систем небольшой производительности (до $200 \text{ м}^3/\text{сут}$) при гарантированных глубинах водоисточника $\geq 4 \text{ м}$. При меньших глубинах целесообразно использовать конструкцию водозаборно-очистного узла с тяжелой загрузкой, например из кварцевого песка (рис. 9.25). Узел состоит из подводной части и павильона с оборудованием на берегу. Подводная часть включает флотационную камеру 1, поворотную камеру 2 и фильтрующую камеру с надфильтровым пространством 3, фильтрующим слоем 4 и дренажной системой 5. Вода в водоприемник поступает только через верх флотационной камеры, поэтому при небольших глубинах водоприемник частично погружен в дно. При такой конструкции нет необходимости в береговом колодце. Для промывки тяжелой фильтрующей загрузки обратным током воды в фильтровальной камере предусматриваются два обратных клапана 21 и 22. В режиме промывки промывная вода, забираемая непосредственно из источника

по трубе 15, подается через дренажную систему снизу вверх. При этом обратный клапан 21 закрывается, а клапан 22 открывается, выпуская промывную воду непосредственно в источник. Подача водовоздушной смеси для флотации осуществляется так же, как в водозаборно-очистном узле по рис. 9.24.

Применение напорной флотации в водозаборном узле по сравнению с традиционным использованием этого метода на станциях водоподготовки, имеет следующие преимущества:

- водозаборный узел приобретает надежные рыбозащитные свойства не только по отношению к молодежи, но и к малькам рыб, что в сочетании флотации с последующим фильтрованием соответствует наиболее совершенным рыбозащитным устройствам — комплексным;
- полный цикл флотационной обработки значительно упрощается; отпадает необходимость устройств сбора и утилизации пены;
- зимой облегчается борьба с льдообразованием, поскольку пузырьки воздуха, забираемого из теплого помещения, всегда имеют положительную температуру. Двухступенчатая флотационно-фильтрационная очистка в водозаборном узле может быть так же эффективна, как и на стационарных береговых водоочистных сооружениях.

Следует учитывать особенности проектирования флотационных камер и зон в водозаборах. Во-первых, исходная вода движется сверху вниз, следовательно, существует противоток воды и пузырьков воздуха. Поэтому скорость движения воды вниз должна быть меньше скорости восходящего движения пузырьков воздуха, которая в свою очередь зависит от их размеров. При напорной флотации за счет регулирования ряда технологических параметров можно обеспечить диаметры пузырьков от 0,01 до 0,1 см. Скорость всплывания пузырьков для природной воды можно определить по формуле

$$V = 4,7 d. \quad (9.5)$$

Следовательно, скорость движения воды через фильтрующую камеру должна быть

$$V_{\text{в}} = KV, \quad (9.6)$$

где K — коэффициент запаса скорости.

Его рекомендуется принимать в пределах 0,5...0,8.

9.6. Передвижные компактные установки

Ряд систем водоснабжения (полевые станы, поселки гидростроителей и гидромелиораторов, передвижные механизированные колонны, отряды мостостроителей и военнослужащих) требуют мобильных и компактных водоочистных установок, которые в нестационарных или полустационарных условиях обеспечивают высокоэффективную очистку и обеззараживание вод местных источников для питьевых и технических целей. Такие установки должны быть просты, удобны в эксплуатации, позволять монтировать их пускать в работу в короткие сроки, иметь невысокую стоимость. В качестве таких установок, легко размещаемых на шасси автомобиля, служат комбинированные установки ФПЗ-12 и ФПЗ-23 (рис. 9.26 а, б). Смонтированная на кузове грузового автомобиля установка для глубокой очистки воды состоит: из насосов для подачи исходной воды; очистного комбинированного устройства, включающего префильтр ФПЗ-1, электрокоагулятор и фильтр ФПЗ-4; бактерицидных обеззараживающих блоков; резервуара очищенной воды и щита управления с выпрямителем тока для электрокоагулятора. Вода из открытого источника частично очищается от грубодисперсных примесей на пенополистирольном префильтре с восходящим фильтрационным потоком толщиной загрузки 0,7...1 м из гранул 1,5...2,5 мм. В камере электрокоагулятора с алюминиевыми электродами происходит коагуляция коллоидных и тонкодисперсных взвешенных частиц в результате растворения анодных пластин. Глубокую

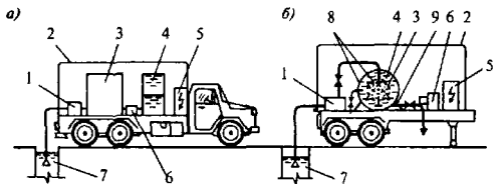


Рис. 9.26. Передвижные водоочистные установки:

- а) — с префильтром, электрокоагулятором и фильтром доочистки;
 б) — со сферическим фильтром и гибким корпусом из полимерных оболочек; 1 — насосы; 2 — съемное перекрытие; 3 — блок очистки; 4 — резервуар чистой воды; 5 — электроцит; 6 — блок обеззараживания; 7 — водоисточник; 8 — проницаемые и непроницаемые оболочки, 9 — гибкие связи

доочистку воды осуществляют на фильтре доочистки ФПЗ-4 с неоднородной загрузкой из гранул 0,6...2,5 мм. Помимо осветления такая установка способна обесцветить воду, удалить из нее органические вещества, снизить порог привкусов и запахов.

Значительную экономию металла и бетона, а также снижение общей массы установок можно получить, используя в качестве корпуса фильтра прочные синтетические оболочки. Эта идея реализована в конструкции фильтра ФПЗ-23, легко размещаемого на шасси автомобиля и позволяющего уменьшить его габариты при перевозке. Пенополистирольная загрузка в нем размещена внутри сферической водонепроницаемой оболочки, выполненной из прочной синтетической ткани с регулируемым размером пор, помещенной внутрь водонепроницаемой оболочки большего диаметра. Пространство между ними в рабочем состоянии образует резервуар чистой воды. В нем можно разместить элементы бактерицидной установки для обеззараживания воды. Исходную воду подают через специальный патрубок и сферический дырчатый оголовок. Для регенерации загрузка перепускается в специальный промыватель, откуда возвращается после про-

мывки с помощью насоса. Предлагаемая установка позволит в некоторых случаях отказаться от традиционно применяемых металлических и железобетонных корпусов. При этом решаются вопросы экономии материалов, монтажа и транспортировки в кратчайшие сроки легких, готовых к эксплуатации фильтров.

В качестве основного водоочистного блока на передвижных установках при заборе из водоисточников цветных мутных вод целесообразно применять установку ФПЗ-12, включающую префильтр, электрокоагулятор или электрокоагулятор-флотатор и фильтр глубокой очистки. Предварительно осветленная на префильтре вода поступает в камеру электрокоагулятора с алюминиевыми или железными электродами. В результате растворения анодных пластин в межэлектродном пространстве происходит коагуляция не только тонкодисперсных и коллоидных частиц, но и частично растворенных органических примесей, что способствует снижению цветности, окисляемости, а также устранению привкусов и запахов. Фильтр глубокой доочистки может работать как при выключенном, так и работающем электрокоагуляторе. В первом случае его установка целесообразна, когда возникает необходимость очистки малоцветной мутной воды, содержащей слабоустойчивые взвешенные вещества.

При содержании в воде коллоидных органических веществ и высокоустойчивых тонкодисперсных взвешенных частиц необходимо включить электрокоагулятор. Во время его работы скорость фильтрования на фильтре может быть в пределах 6...8 м/ч; продолжительность фильтроцикла не менее 12 ч. Префильтр промывают обратным током частично осветленной воды, накопленной в общем надфильтровом пространстве при выключенном насосе, подающем исходную воду. Промывку фильтра ФПЗ-4 производят аналогично, но без выключения насоса, подающего воду на очистку.

Для сложных условий предложен фильтр, содержащий корпус с подающими и отводящими патрубками, зернистую фильтрующую загрузку, электрокоагулятор, расположенный над загрузкой, коллектор для отвода воздуха и ис-

точник тока. Электрокоагулятор одновременно выполняет функции верхней дренажной системы, удерживающей плавающую загрузку в затопленном состоянии. Он выполнен из уголков, вершины которых поочередно направлены вверх и вниз с диэлектрическими прокладками между ними. Коллектор для отвода воздуха присоединен к уголкам, вершины которых направлены вверх. Источник тока подсоединен к коллектору. Уголки с направленными вверх вершинами и уголки с вершинами, направленными вниз, выполнены из разных металлов. Уменьшение веса и ускорение монтажа передвижных установок на месте его работы достигают применением установки, представленной на рис. 9.27.

Фильтр состоит из корпуса в виде водонепроницаемой эластичной оболочки 1, внутри которой на гибких связях 2 размещена водопроницаемая оболочка 3, заполненная гранулированным пенополистиролом 4. Пространство 5 между оболочками 1 и 3 служит резервуаром чистой воды. Внутри загрузки 4 размещен перфорированный сферический оголовок 6, к которому присоединен трубопровод 7

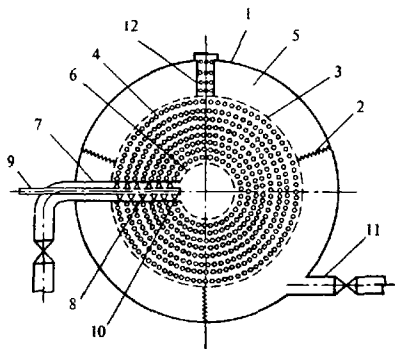


Рис. 9.27. Сферический фильтр ФПЗ-30

для подачи очищаемой и отвода промывной жидкости. Внутри патрубка 7 находится шнек 8, по оси которого установлена перфорированная труба 9 для подачи раствора реагента. На торце трубы, обращенном к оголовку, имеется заглушка 10, а свободный торец трубы присоединен к устройству для подачи раствора реагента (на схеме не показан). Фильтр снабжен также патрубком 11 для отвода чистой и подачи промывной жидкости и патрубком 12 для загрузки и выгрузки фильтрующего материала и выпуска воздуха. Фильтр в режиме контактного фильтрования работает следующим образом.

Исходная жидкость подается по патрубку 7 и поступает в полости шнека 8, где поток закручивается и становится турбулентным. В это время по трубе 9 подается раствор реагента, поступающий в патрубок 7 через отверстия в трубе 9, и за счет турбулентности смешивается с потоком исходной жидкости. Далее жидкость распределяется оголовком 6, очищается, фильтруясь через загрузку 5, и через водопроницаемую перегородку 3 поступает в резервуар чистой воды 5, откуда по патрубку 11 отводится потребителю. При модификации фильтрующего материала раствор реагента подается по трубе 9 до насыщения материала. Последующая подача очищаемой жидкости по патрубку 7 осуществляется после прекращения подачи реагента.

При промывке фильтра промывная жидкость поступает через патрубок 11 и водопроницаемую перегородку 3 в фильтрующий материал. Скорость движения жидкости при этом в 8–10 раз превышает скорость фильтрации, а фильтрующий материал остается в сжатом состоянии. Промывная жидкость вместе с удаленными из фильтрующего материала 4 загрязнениями поступает в оголовок 6 и выводится из фильтра через патрубок 7. Поток промывной жидкости проходит через шнек 8 и закручивается в его внутренней полости. Благодаря этому наиболее крупные загрязнения, содержащиеся в промывной жидкости, относятся к стенкам патрубка 7 вследствие центробежной силы, что исключает возможность забивки перфорации в трубе 9.

Устройство позволяет вводить раствор реагента непосредственно в корпус фильтра при турбулентном смешении его с обрабатываемой жидкостью, что позволяет исключить образование флокул в очищаемой жидкости до ее входа в загрузку и тем самым эксплуатировать фильтр в оптимальном режиме контактной фильтрации. Это приводит к улучшению качества очищаемой жидкости и повышению производительности фильтра. Устройство позволяет также выполнять обработку фильтрующего материала раствором реагента или модификацию загрузки и эксплуатировать фильтр в режиме фильтрования воды через модифицированную загрузку, что также повышает производительность фильтра.

Литература к гл. 9

1. Журба М.Г. Водоочистные фильтры с плавающим фильтрующим слоем / Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1985.
2. Журба М.Г. Пенополистирольные фильтры. — М.: Стройиздат, 1992.
3. Журба М.Г. Фильтры с плавающей загрузкой для сельхозводоснабжения. — М.: Колос, 1978.
4. Пааль Л.Л., Кару Я.Я., Мельдер Х.А. и др. Справочник по очистке природных и сточных вод. — М.: Высшая школа, 1994.
5. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. — Л.: Стройиздат, 1985.
6. Журба М.Г. Водоочистные технологии и сооружения с плавающим фильтрующим слоем // Волосн. и сан. техника. — 1998. — № 8.
7. Пособие к СНиП 2.04.02-84. Проектирование сооружений для очистки и подготовки воды. — М.: НИИКВОВ, 1989.
8. Чудновский С.М., Степанов А.И., Мезенева Е.А. Водозаборные сооружения из поверхностных источников. — Л., 1989.
9. Журба М.Г., Мезенева Е.А., Чудновский С.М. Очистка воды на водозаборном узле // Метриом. — 1996. — № 6.
10. Журба М.Г., Приемышев Ю.Р., Говорова Ж.М. и др. Очистка природных вод, содержащих антропогенные примеси. — М.: Вологда, 1998.
11. Соколов Е.Я., Зянгер Н.М. Струйные установки. — М.: Машиностроение, 1970.

12. **Сергеев Б.И., Степанов П.М., Шумаков Б.Б.** Мягкие конструкции – новый вид гидротехнических сооружений. – М.: Колос, 1971.
13. **Вдовин Ю.И.** Водоснабжение на Севере. – Л.: Стройиздат, 1987.
14. **Затворницкий О.Г.** Конструкции из мягких оболочек в гидротехническом строительстве. – М.: Госэнергоиздат, 1975.
15. **Бабаев И.С.** Новая технология осветления высокомутных вод // Водосн. и сан. техника. – 1981. – № 6.
16. **Журба М.Г.** Сельскохозяйственное водоснабжение. – Кишинев: Universitas, 1991.
17. **Журба Ж.М.** Разработка водоочистных фильтров с пенопластоволокнистой загрузкой / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 1994.

ГЛАВА 10. ВОДОЗАБОРНО-ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОРОШЕНИЯ

10.1. Характеристика качества воды в источниках орошения

Вода в большинстве поверхностных источников по ирригационным характеристикам пригодна для орошения при условии предварительной очистки ее от взвешенных веществ, а в местах интенсивного «цветения» водоемов — и от фитопланктона. Количественный состав ингредиентов воды (жесткость, окисляемость, минерализация, цветность, содержание и соотношение основных ионов в воде) изменяется по годам и гидрологическим фазам сезона. Особенно ощутимы изменения взвешенных веществ по содержанию и гранулометрическому составу.

Места расположения водозаборов для систем орошения не всегда совпадают с гидрологическими постами наблюдения, поэтому при проектировании и строительстве конкретных систем не всегда представляется возможным пользоваться официальными данными гидрометслужб по качеству воды. Кроме того, места головных водозаборов таких систем часто расположены далеко от орошаемых объектов. Оросительная вода обычно проходит от места водозабора до орошаемого участка через один или несколько регулирующих бассейнов по открытым земляным или железобетонным каналам большей или меньшей протяженности и далее по магистральным и участковым трубопроводам. По тракту движения оросительной воды взвешенные плотные частицы осаждаются. С изменениями рН при повышении температуры воды возможна коагуляция коллоидных частиц. Из-за

испарения воды в открытых каналах повышается ее содержание.

Исследование качества воды по тракту ее подачи на орошение выявило динамику изменения ингредиентов оросительной воды по трассе ее движения от водозабора до орошаемого участка. На примере системы орошения межколхозного сада им. Газеты «Правда» в Молдове [1] нами показано, что вода по тракту ее подачи количественно изменяет многие ингредиенты: осаждение взвешенных веществ, уменьшение минерализации, изменение цветности, окисляемости, жесткости. Исследования изменения физико-химических, эксплуатационных и ирригационных показателей качества воды, используемой для орошения, выполненные в Укргипроводхозе, подтвердили, что основными помехами при использовании озерных вод и вод из водохранилищ являются биообрастания (табл. 10.1). Необходимо также учитывать значения индекса стабильности воды. Наличие избыточного количества свободной углекислоты в оросительной воде способно вызвать коррозию металлоизделий и создать дополнительный источник засорения водовыпусков.

Изменение дисперсного состава взвешенных веществ в воде значительно влияет на эффективность работы очистных сооружений. Промежуточные регулирующие и запасные водоемы-отстойники способствуют увеличению числа более мелких частиц в воде, а при длительном отстаивании воды в них — изменению ее химического состава (табл. 10.2). Исследования на системах капельного орошения в Узбекистане показали, что в период непрерывной подачи оросительной воды по напорному водоводу $d = 600$ мм воды из р. Зах в регулирующий бассейн-отстойник (рис. 10.1) системы орошения института им. Шредера (Ташкент) и ее отбора с противоположной стороны бассейна в лотковый ороситель при средних концентрациях взвешенных частиц в речной воде от 70 до 110 мг/л средний эффект отстаивания за 6...8 ч достигал 30...36 %.

Изменение показателей качества воды на системах капельного орошения перед подливной сетью и в оросительном трубопроводе.

Показатель качества воды	Системы капельного орошения Совхоз «Пуца - Волды» (1)	АПСК «Крася Херсонинный» (2)	Совхоз «Виноградный» (3)	Совхоз «Совки» (4)	Источник орошения	Физико-химические:					
						гидрокарбонаты, мг/л	хлориды, мг/л	натрий, мг/л	сухой остаток, мг/л	взвешенные вещества, мг/л	pH
гидрокарбонаты, мг/л	176,9 (180,1)	189,2 (195,3)	250,2	372,2 (372)	Озеро «Голубое» (1)						
хлориды, мг/л	17,8 (17,8)	42,6 (41,6)	158,4	28,1 (11,5)	Оросительный канал Р-1 Каховской оросительной системы (2)						
натрий, мг/л	39,3 (43,4)	72,4 (60,5)	91,5	80,7 (84,9)	Чугинское водохранилище Булганак (3)						
сухой остаток, мг/л	224,7 (226,2)	350 (354)	930	396 (388)							
взвешенные вещества, мг/л	11 (4)	14 (7,5)	94	-							
pH	7,25 (6,4)	8 (7,8)	-	-							

Продолжение таблицы 10.1

Показатель качества воды	Системы капельного орошения Совхоз «Пуца-Водня» (1)		АПСК «Краса Херсонщины» (2)	Совхоз «Виноградный» (3)	Совхоз «Совки» (4)	Источник орошения
	13,07	(4,4)				
углекислота агрессивная, мг/л			—	—	—	Артезианская вода + поверхностный бассейн (4)
<i>Эксплуатационные:</i>						
индекс стабильности, ед.	-0,48	(20,35)	+0,44	+0,03	+0,08	Ороситель «Аквадрип»
скорость биообразования, г/м ² · 100 ч	1,75	(Не определась)	1,2	1,8	0,7	—
<i>Ирригационные:</i>						
на засоление, 3000	198	(197,2)	345	987	368	(356)
на ощелачивание, 3000	2,89	(3,96)	5	9	4,6	(6,2)

Примечание. В скобках указаны значения ингредиентов в воде поливных трубопроводов.

Таблица 10.2.

Гранулометрический состав взвеси в воде канала р. Зах и бетонном отстойнике СКО института им. Р.Р. Шредера (Узбекистан)

Данные, %	Диаметр фракции, мм					
	0,5... 0,25	0,25... 0,1	0,1... 0,05	0,05... 0,01	0,01... 0,005	0,005
Проектные (канал р. Зах), %	След	8,4	30,5	28,6	17,5	16
Опытные (бетонный от- стойник), %	←→	1,6	2,4	37,5	37,5	21
	→←	След	4,1	40,4	36,5	19

Анализ гранулометрического состава взвесей в воде Паркентского оросительного канала показал, что в отличие от южных источников Европейской части страны процент тонкодисперсных примесей, плохо поддающихся безреагентному удалению, в каналах такого рода значительно выше. Учитывая разнообразие качества вод в раз-

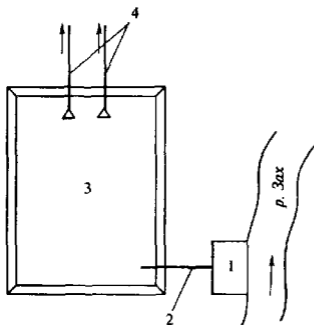


Рис. 10.1.
Водоподготовка системы капельного орошения института им. Р.Р. Шредера (Ташкент):

1 - водозаборный узел;
2 - напорный водовод ($d = 600$ мм); 3 - регулирующий бассейн-отстойник; 4 - отбор воды в лотковый ороситель

личных водоисточниках систем орошения, на стадии проектирования рекомендуется проводить специальные предварительные изыскания и анализ изменения качества воды, поступающей на очистные сооружения и поливные трубопроводы систем орошения, в том числе по такому важному показателю, как гранулометрический состав взвеси в воде.

Выбор водоисточника с точки зрения влияния возможного качества поливной воды на состав, конструкцию и условия эксплуатации очистных сооружений следует осуществлять на основе технико-экономического сравнения следующих возможных вариантов:

- орошение из близлежащего к объекту поверхностного источника, вода которого содержит большое количество взвешенных частиц, фитопланктона и солей;
- орошение из более удаленного от объекта орошения, но менее загрязненного поверхностного источника;
- орошение из подземных водоносных горизонтов, вода которых требует (или не требует) предварительного обезжелезивания, обессоливания или прогрева перед подачей в оросительную сеть.

Качество воды источника орошения определяет применимость капельного способа полива. В связи с этим для каждого конкретного случая следует районировать территорию с выделением массивов, наиболее пригодных для орошения этим способом с учетом вышеуказанных лимитирующих факторов.

Во всех случаях капельного орошения водой с минерализацией $\geq 0,5$ г/л помимо технико-экономического обоснования следует составлять прогноз водно-солевого режима почв [2], когда имеется опасность осолонения – прогноз динамики ионов Na^+ (иногда и Mg^{2+}) в поровом растворе и в почвенном поглощающем комплексе (ППК); когда имеется опасность накопления водорастворимых солей до токсичных уровней – прогноз содержания ионов Cl^- . При предварительной оценке пригодности воды для капельного орошения почв разных типов можно пользоваться классификацией, приведенной на рис. 10.2. В случае отклонения исходных данных от нормативных в про-

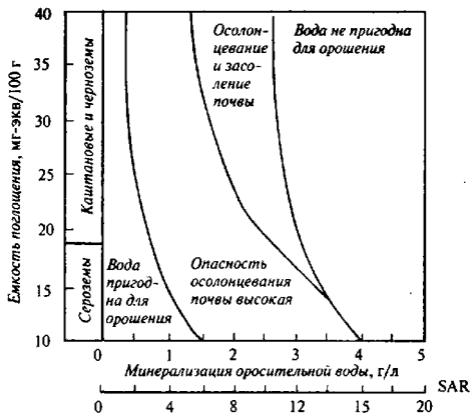


Рис. 10.2. Классификация оросительной воды для систем орошения емкости поглощения почв

екты необходимо закладывать соответствующие мероприятия и сооружения для приведения этих отклонений к норме или предусмотреть иной водоисточник, отвечающий требованиям.

Нормы качества поверхностных и подземных поливных вод, используемых после очистки или без нее для СМО, определяются общими требованиями к воде, используемой для орошения, с учетом различных почвенно-климатических условий в зависимости от возделываемых сельскохозяйственных культур и требований технических средств системы (капельница, запорно-регулирующая арматура, элементы автоматики). Использование для орошения поверхностных и подземных вод лимитируется общей минерализацией, содержанием взвешенных веществ, токсичных ионов (Na^+ , Cl^- , F^- и др.), пестицидов,

наличием гидробионтов, паразитологическими и эпидемиологическими показателями.

При анализе предельных значений отдельных ингредиентов следует учитывать, что на них существенно влияют способ укладки поливных трубопроводов (наземный, подземный), режим орошения, солнечная радиация, температура и другие факторы воздействия окружающей среды. Наземная укладка трубопроводов способствует нагреванию поливной воды и температурной коагуляции коллоидных частиц, нарушению карбонатно-бикарбонатного равновесия и образованию труднорастворимых химических соединений, вызывающих засорение трубопроводов и закупорку водоводов капельниц.

Водой с минерализацией до 500 мг/л допускается орошать любые почвы при любых режимах орошения. Регулируя режим орошения (интенсивность и продолжительность полива), можно избежать засоления и осолонцевания почв, используя поливную воду с минерализацией до 1 г/л (табл. 10.3). Предельно допустимые концентрации вредных веществ в поливной воде следует принимать по установленным Минводхозом РФ нормам для источников централизованного водоснабжения.

Таблица 10.3

**Классификация качества поливной воды
по содержанию растворимых солей**

Качество воды	Содержание растворимых солей		Величина электропроводности, $\Gamma = 18^\circ\text{C}$
	%	мг/л	
Очень хорошее	0,01	105	0,16
Хорошее	0,01...0,03	105...320	0,16...0,50
Удовлетворительное	0,03...0,09	320...950	0,50...1,50
Неудовлетворительное	0,09...0,15	950...1700	1,50...2,60
Плохое	0,15	1700	2,60

Полив водой, эпидемиологические и паразитологические показатели которой превышают санитарные нормы, не допускается. Температура поливной воды должна быть близкой к оптимальной температуре развития растений. Не следует производить полив при температуре воды ниже температуры почвы более чем в 1,5 раза. В период вегетации растений она должна быть не ниже 18 °С.

При установлении предельного значения минерализации оросительной воды на черноземах, каштановых почвах (почвы с тяжелым механическим составом и высокой емкостью поглощения), а также сероземах необходимо установить тип водного режима путем определения величины индекса сухости K_6 по М.И. Будыко [3]

$$K_6 = \frac{\Sigma R}{LQ_c}, \quad (10.1)$$

где ΣR – сумма радиационного баланса за год, кДж/м²; LQ_c – количество теплоты, необходимой для испарения суммы годовых осадков, приходящейся на 1 м² поверхности почвы, кДж (где L – скрытая теплота испарения, кДж/м²; Q_c – количество осадков, см). Эта величина позволяет оценить степень изменения естественного водного режима почвы при орошении.

При $K_6 \leq 1,6$ допускается применение вод с минерализацией до 1 г/л, в районах с $K_6 = 1,6 \dots 1,8$ минерализация не должна превышать 0,6 г/л. Для районов с $K_6 > 1,8$ использование капельного орошения должно обосновываться расчетами по засолению почв в процессе всего периода эксплуатации систем.

Значение допустимого натриево-адсорбционного отношения поливной воды

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{++}] \cdot [Mg^{++}]}{2}}} \quad (10.2)$$

зависит от емкости поглощения почв и должно составлять для почв с емкостью поглощения 5 мг-экв/100 г почвы – 8...12; от 5 до 15 мг-экв/100 г почвы – 6...8; для почв с емкостью поглощения в интервале 15...50 мг-экв/100 г почвы – 2...4 (см. рис. 10.2).

Содержание в поливной воде токсичных ионов не должно превышать: для хлора — 350...600 мг/л, сульфатов — 300...450 мг/л, бикарбонатов — 100...150 мг/л, фтора — 1 мг/л, сульфидов — 0,5 мг/л, бора — 2 мг/л, железа общего — 0,3 мг/л, кальция — 100...150 мг/л, магния — 20...40 мг/л. Содержание растворенного кислорода в воде должно быть не менее 50 % насыщения; общая жесткость оросительной воды — не более 9...10 мг-экв/л. Значения рН воды, подаваемой в систему, должны находиться в пределах 6...9.

При обработке трубопроводов и капельниц растворами реагентов допускается 2—3-часовая подача воды с рН \approx 3...4 с последующим двухчасовым поливом участка обычной водой. Содержание нормируемых ингредиентов определяют по общеизвестным методикам. Индекс стабильности I_c , характеризующий коррозионную способность воды или возможность выпадения в осадок труднорастворимого карбоната кальция в результате нарушения карбонатно-бикарбонатного равновесия, должен быть в пределах $0,5 < I_c < +0,5$. При $I_c < -0,5$ возможна коррозия механических частей водопроводящей системы. В этом случае необходимо предусмотреть их антикоррозионную защиту. При $I_c > +0,5$ возможно выпадение в осадок карбоната кальция, что приводит к вторичному загрязнению поливной воды и засорению трубопроводов и капельниц.

Скорость биообрастания в поливной воде (биогенность) не должна превышать $0,5 \text{ г/м}^2 \cdot 100 \text{ ч}$. Биогенность рекомендуется определять по методике экспонирования индикаторных стекол и образцов. Допустимое содержание взвешенных веществ минерального и органического происхождения в воде и предельный размер их частиц следует назначать по табл. 10.1 в зависимости от типа капельниц.

Содержание взвешенных веществ в поливной воде определяют весовым методом после фильтрования воды через бумажный фильтр (синяя лента). Крупность взвешенных частиц устанавливают либо пипеточно-фракциометрическим методом, либо с помощью торсионных весов. Ухудшение работы поливной сети с микроводовыпусками, обусловленное наличием в воде взвешенных веществ, происходит в первую очередь вследствие их осаждения в водовыпусках и полив-

ных трубопроводах частицами взвеси из-за различия на порядок и более их размеров. Осаждение наносов происходит при малых скоростях движения воды в водовыпускных трактах, соизмеримых с гидравлической крупностью частиц.

В начальный период работы системы орошения происходит частичное осаждение взвешенных веществ вдоль поливного трубопровода вследствие уменьшения скорости движения транзитного потока. Характерное изменение содержания взвешенных веществ в вытекающей из водовыпусков воде представлено на рис. 10.2. Частицы размером $\geq 30...50$ мкм практически не задерживаются в системе. В периоды между поливами, которые могут длиться от 6 ч до нескольких недель, наблюдается выпадение взвеси из оставшейся в системе воды. Однако по абсолютным значениям это осадок на несколько порядков меньше количества осадка, который может образовываться из 50 мг/л взвешенных веществ в водовыпуске с внутренним объемом 1 см³. Из него при длительном отстаивании может образовываться осадок массой 0,05 мг, в то время как за 4 ч полива такой водой через этот же объем водовыпуска проходит 800 мг взвешенных веществ.

При последующих повторных включениях системы осевший в трубопроводах осадок отгоняется транзитным потоком в концевые участки поливных трубопроводов. Если на концевых участках отсутствуют сбросные клапаны или неправильно подобрано время их срабатывания, то в концевых участках трубопроводов возможно накопление взвешенных веществ, и их концентрации могут в несколько раз превышать содержание взвешенных веществ в воде, поступающей в начало трубопровода. Таким образом, наибольшее влияние на нарушение стабильности работы системы оказывает осадок, образующийся из поливной воды в процессе работы. Из-за малой глубины осаждения, равной диаметру поливных трубопроводов и каналов гасителей водовыпусков, элементы поливной сети представляют собой, по сути, горизонтальные тонкослойные модули-отстойники, процессы отстаивания воды в которых подчиняются общим закономерностям отстаивания.

Из-за сложной конфигурации поливной сети и лабиринтных или спиральных каналов гасителей водовыпу-

сков, различающихся своим устройством, параметрами и гидравликой протекающих через них потоков, точное определение геометрических параметров и режима работы горизонтального тонкослойного отстойника, адекватного системе орошения с водовыпусками, трудноразрешимо. Использование критериев подобия тонкослойного отстаивания позволяет оценить степень опасности применения поливных вод с различным содержанием и дисперсностью частиц взвеси для систем орошения.

При гидравлической крупности частиц взвеси в исходной воде (u_0 , мм/с) количество осадка, способного выпасть за время t в покое, составит

$$G = u_0 C_0 F_0 t. \quad (10.3)$$

Значение образующегося осадка из движущейся воды в трубопроводе будет всегда меньше значения осадка, полученного из этого же объема воды в покое

$$G_i = K_b G, \quad (10.4)$$

где K_b — коэффициент, учитывающий воздействие вертикальной составляющей скорости осаждения, возникающей при движении воды через отстойник, $K_b < 1$.

Поскольку значения F_0 , t и K_b для системы орошения, оснащенной данным типом водовыпусков и работающей в заданном режиме, постоянны, то относительное приращение массы осадка, обусловленное качеством проходящей через систему воды, зависит только от C_0 и u_0 .

$$\Delta G = K_{от} C_0 u_0, \quad (10.5)$$

где $K_{от}$ — коэффициент, величина которого зависит от факторов, не учтенных в формуле.

С учетом известного выражения для определения u_0 зависимость примет вид

$$\Delta G = K_{от} C_0 \frac{d^2(\rho_T - \rho_B)g}{18\mu g}, \quad (10.6)$$

где d — диаметр частиц взвеси, м; ρ_T и ρ_B — плотность твердой и жидкой фаз, кг/м³; g — ускорение силы тяжести, м/с²; μg — вязкость воды, Па · с.

Если принять минимальные нормативные требования к водовыпуску определенной конструкции за эталонные (например, для водовыпусков типа М-4АМ $C_0 = 30$ мг/л, $d = 50$ мкм), то для взвеси той же плотности при одинаковой температуре воды поливную воду с i -ми значениями параметров качества вод можно оценивать по соотношению, которое представляет собой безразмерный параметр M

$$M = \frac{\Delta G_i}{\Delta G_0} = \frac{G_i d_i^2}{C_i d_0^2}, \quad (10.7)$$

где подстрочным индексом обозначены эталонные значения факторов.

В табл. 10.4 представлены значения параметров M для разных типов водовыпусков [1].

Таблица 10.4

Нормы качества воды и соответствующие им значения обобщенного параметра

Тип водовыпусков и их характерные элементы	Допустимые размеры и содержание взвешенных в воде частиц при $\rho_s = 2,4$ г/см ³ и $t = 25^\circ\text{C}$		Допустимое значение обобщенного параметра
	концентрация, мг/л	размер частиц, мкм	
Спиральные каналы малого сечения, резиновые прокладки («М-4», «КУ-1», «М-4АМ»)	30...50	50...70	1...3,27
Дросселируемые выходные отверстия с помощью резиновых прокладок («К-38 З», «Бустон»)	100...150	70...100	3,3...13,3
Дросселируемые выходные отверстия с помощью поплавков («Таврия», «Уз-2»)	100...150	70...100	6,5...20,0

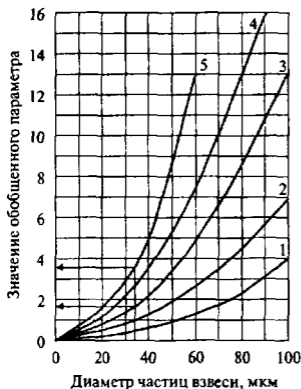


Рис. 10.3.
Номограмма для оценки пригодности поливной воды по обобщенному критерию

- 1 — $C = 30$ мг/л;
- 2 — $C = 50$ мг/л;
- 3 — $C = 100$ мг/л;
- 4 — $C = 150$ мг/л;
- 5 — $C = 250$ мг/л

На рис. 10.3 показана номограмма для оценки пригодности поливной воды с использованием безразмерного параметра M .

Видно, что для систем орошения адекватны по степени отрицательного воздействия поливная вода с $C_0 = 30$ мг/л и $d = 50$ мкм, и, например, более мутная вода с $C_0 = 250$ мг/л, но диаметром частиц взвеси в ней 17 мкм. Использование обобщенного критерия оценки пригодности поливной воды, который рассчитывают по данным для любого водоисточника системы орошения по формуле (10.7), позволяет расширить диапазон вод для орошения со взвешенными веществами малых размеров, попадание которых с поливной водой в корнеобитаемую зону растений повышает плодородие почв.

В зарубежных странах требования к качеству воды для систем орошения регламентируются специальными стандартами. Так, американский нормативный документ хотя и не обязателен для фирм, производящих системы орошения и оборудование для них, рекомендует для большинства систем использовать сетчатые либо фильтры из квар-

цевого песка. Они удаляют взвешенные вещества с размером от 25 до 100 мкм при скоростях фильтрования не более 50 м/ч и толщине зернистой загрузки не менее 0,5 м [5].

Гидроциклоны используют для удаления из воды взвеси с размерами более 75 мкм; и отмечается их неэффективность для большинства органических примесей. Отстойники, пруды или резервуары рекомендуются для очистки воды при условии, что их поверхность защищена от загрязнений из воздуха и роста в них водорослей. Для подавления развития органики воду обрабатывают химическими реагентами. Отметим, что стандарты США не содержат прямых указаний по нормированию качества воды в системах орошения; такое нормирование косвенно — через рекомендации по техническим параметрам средств водоочистки, которые желательно использовать. Разработанные в Международном сельскохозяйственном институте требования к качеству поливной воды для систем орошения близки к нормам в нашей стране. В них нормируются содержание грубодисперсных примесей, причем по степени опасности закупорки водовыпусков, и другие ингредиенты (табл. 10.5).

Таблица 10.5

Требования к качеству воды для капельного орошения [1]

Показатель	Опасность закупорки водовыпусков		
	незначительная	средняя	большая
Грубодисперсные примеси, мг/л	50	50...100	> 100
Солесодержание, мг/л	500	500...2000	> 2000
pH	7	7...8	8
Марганец, мг/л	0,1	0,1...1,5	> 1,5
Железо, мг/л	0,1	0,1...1,5	> 1,5
Сероводород, мг/л	0,5	0,5...2,0	> 2,0
Число бактерий на 1 мл, тыс.	10	10...50	> 50

Исходя из анализа норм качества воды, приведенных выше, не запрещено применение мутных вод с мелкодисперсными примесями. При использовании реagentных методов обработки воды путем введения в нее растворов сернокислого алюминия, полиакриламида и других коагулянтов и флокулянтов необходимо учитывать предельнодопустимые концентрации этих веществ в поливной воде. Так, по данным [6], предельнодопустимая концентрация по алюминию для оросительной воды составляет: для вод, используемых в течение 20 лет на мелкозернистых почвах ($\text{pH} = 6 \dots 8,5$), — 20 мг/л. Отметим, что полиакриламид в ряде случаев не только не влияет отрицательно, но и улучшает механический состав почв некоторых типов [7].

10.2. Системы забора и очистки воды

Водозаборно-очистные сооружения для систем орошения могут располагаться вблизи водоисточников или на значительном удалении от них — возле объектов орошения. Выбор места под очистные сооружения учитывает (рис. 10.4):

- площадь орошаемого участка и его конфигурацию;
- трассировку магистральных и поливных участков труб;
- влияние исходной воды на гидравлический режим водоводов;
- изменение качества воды при частичном отстаивании ее в регулирующих бассейнах возле станций подкачки;
- возможное ухудшение качества очищенной воды при перекачке по напорным стальным водоводам;
- возможность обеспечения очистки воды на одной станции для нескольких орошаемых участков, расположенных на определенном расстоянии один от другого;
- возможность и рациональность создания локальной очистки воды для отдельных участков массива орошаемых земель.

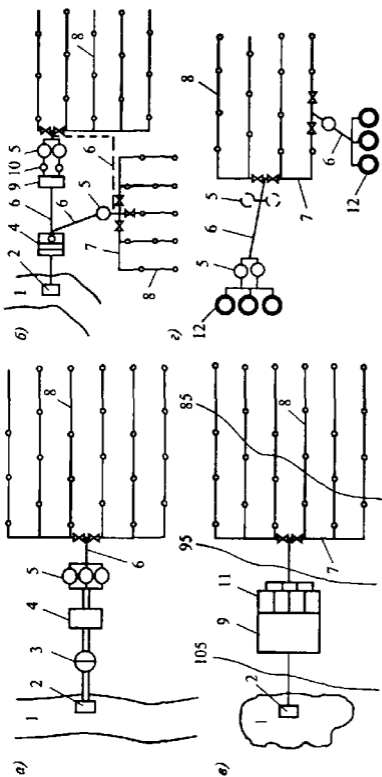


Рис. 10.4. Размещение очистных сооружений на системах орошения:

а) — централизованная, с односторонним питанием оросительной сети; б) — рассредоточенная, с блоком очистки вблизи каждого орошаемого участка; в) — централизованная, с открытыми очистными сооружениями и гравитационной подачей воды; г) — с рассредоточенными подземными водозонниками и двухсторонним питанием оросительной сети; 1 — водозонники; 2, 3 — водозаборные сооружения; 4 — насосные станции; 5, 11 — очистные сооружения; 6 — водоводы; 7, 8 — оросительная сеть; 9 — регулирующие бассейны; 10 — холодный бассейн; 12 — водозаборные скважины

Вообще условия размещения очистных сооружений систем капельного орошения можно считать оптимальными при наличии свободных площадей, источников электропитания, благоприятных условий для отвода промывных вод.

При орошении подземными водами следует учитывать степень агрессивности их по отношению к стальным водоводам и при соответствующих ее показателях располагать очистные сооружения возле орошаемого участка. Выбор местоположения и числа площадок очистных сооружений орошения производят с учетом изменения гидравлических характеристик водоводов, их длины и диаметров, конструкции магистральных и поливных трубопроводов, количества насосов подкачки.

Область применения новых конструкций и технологических схем очистки (рис. 10.5) устанавливают на основании определения соответствия технологических параметров новых сооружений (по данным исследований) требованиям, предъявляемым к качеству очищенной воды. Когда качество исходной воды позволяет применить несколько технологических схем очистки и разные по принципам работы очистные сооружения, оптимальный вариант выбирают на основании технико-экономических сравнений. При необходимости проводят технико-экономические сравнения и расчеты отдельных элементов очистных сооружений, способов промывки загрузки и компоновки отдельных сооружений.

Орошение осуществляют в основном в южных районах России и Украины, Молдове, Узбекистане. Качество воды источников этих регионов отличается по взвешенным веществам, дисперсности и химическому составу. Для Узбекистана характерно, что в поливной сезон концентрация взвешенных веществ в воде может достигать 1500 мг/л. Взвешенные вещества — в основном минеральные илистые частицы с преобладающим размером (> 70 %) 50 мкм; по агрофизическим свойствам они желательны для плодородия почвы. Очистить воду от таких взвесей до требуемой степени безреагентными методами при экономически обоснованных расходах весьма трудно.

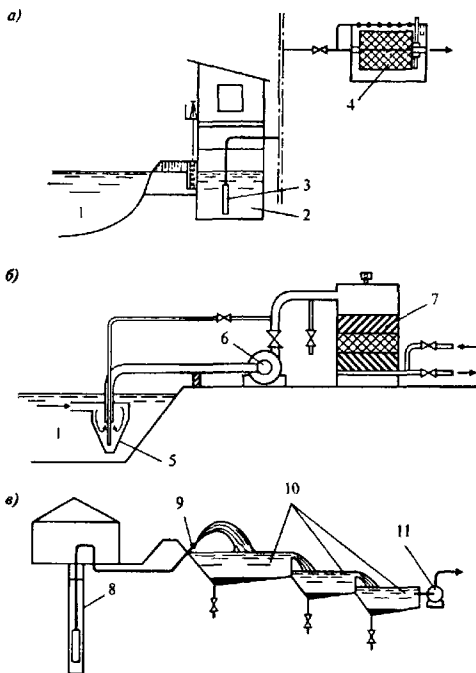


Рис. 10.5. Технологические схемы очистки воды:

а) — с микрофильтрами; б) — с гидроциклонами и зернистыми фильтрами; в) — с каскадом аэрационных бассейнов; 1 — открытый водоем; 2, 3, 6, 11 — водозаборный узел и насосы; 4 — микрофильтр; 5 — гидроциклон на всасывающем трубопроводе насоса; 7 — зернистый фильтр; 8 — скважина; 9 — струйные насадки; 10 — каскадные бассейны

По тракту движения воды в оросительных каналах, во время ее отстаивания в водохранилищах или регулирующих бассейнах происходит разделение частиц на грубодисперсные (размером > 50 мкм), оседающие на дно каналов и бассейнов, тонкодисперсные (размером $50-0,1$ мкм) и коллоидные ($< 0,1$ мкм), остающиеся в воде. Коллоидные частицы при размере водопроводящих каналов и отверстий в водовыпусках более 1 мм при поливе не препятствуют нормальной работе водовыпусков. При высокой температуре воздуха и поливной воды в периоды отсутствия полива ($\geq 3-6$ сут) в застойных зонах поливных трубопроводов и водовыпусков происходит температурная коагуляция тонкодисперсной взвеси. Скоагулированные в микроагрегаты частицы осаждаются в водопроводящих трактах, образуя илистый плотный осадок, высыхающий и закупоривающий отверстия при эксплуатации поливной сети.

Следовательно, технологические схемы очистки воды от грубодисперсных частиц взвеси необходимо сочетать с режимом работы поливной сети, обеспечивающим непрерывную или периодическую промывку трубопроводов и капельниц. Технологическую схему забора и очистки воды для конкретного участка орошения выбирают на основе сопоставления анализов качества воды в водисточнике, принятого типа водовыпусков, монтируемых на поливной сети, и их требований к степени очистки. Учитывая производственные, экономические и местные условия, предпочтительны безреагентные методы очистки воды. Реагентная обработка воды в отстойниках или перед фильтрами рекомендуется при гарантии поставок эксплуатирующим организациям коагулянтов (флокулянтов) и соответствующем технико-экономическом обосновании.

Системы очистки вод из оросительных каналов, водохранилищ и рек с очистными устройствами и сооружениями (кассетные, сетчатые напорные, микрофильтры и гидроциклоны) представлены на рис. 10.6.

Для систем орошения с водовыпусками с более низкими требованиями к степени очистки (например «Узгипро-

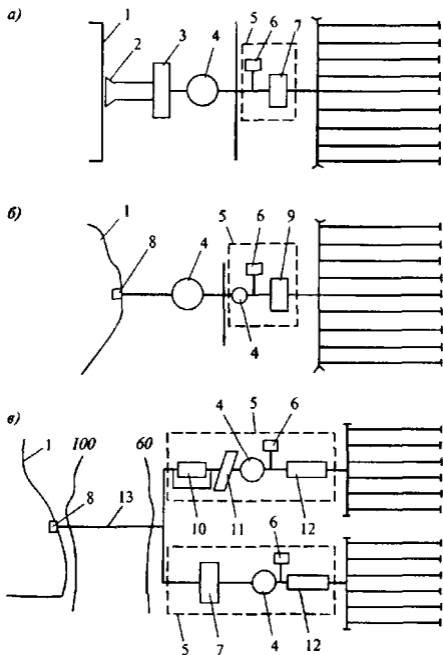


Рис. 10.6. Технологические схемы водоподготовки на СМО Украины:

a) – с напорными сетчатыми фильтрами и фильтрующими каскадами; *б)* – с гидроциклонами разных конструкций; *в)* – с микрофильтрами и сетчатыми фильтрами перед каждым модулем системы; 1 – водисточник; 2, 3, 8, 13 – элементы водозаборного узла; 4 – насосы; 5 – ограждения площадок очистки, внесения удобрений и систем автоматического управления поливом; 6 – узел внесения удобрений. 7, 9, 11, 12 – сетчатые фильтры и гидроциклоны; 10 – микрофильтр

водхоз-2») при содержании взвешенных веществ в исходной воде до 500 мг/л допускается применять одноступенчатую схему очистки воды на серийно изготавливаемых фильтрах типа ФПЗ-3,4-150 с расходом до 150 м³/ч или на установках «Компакт-2» с расчетным расходом от 15–20 до 10...6 м³/ч при их диаметре 1 м (рис. 10.7, 10.8, 10.9).

Для систем орошения, оборудованных водовыпусками типа «Молдавия-4АМ» и оросителями «Агро-Дрип», «Варио-Дрип», учитывая преобладающее наличие в воде оросительных каналов тонкодисперсной взвеси до 50 мкм



Рис. 10.7.
Водозаборно-очистной узел с фильтрами ФПЗ-3,4-150 для крупномасштабной системы капельного орошения садов в Молдове



Рис. 10.8.
Регулирующий бассейн, водозаборная скважина и фильтр ФПЗ-3,4-150 для системы капельного орошения виноградников в Молдове

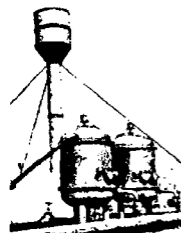


Рис. 10.9.
Фрагмент блока водозабора и подготовки воды «Компакт-2» для системы орошения с трубопроводами «Варио-Дрип» в Узбекистане

(> 70 %), допустимое содержание взвеси в воде, поступающей на установки «Компакт-2» диаметром 1,2 м, не должно превышать 150 мг/л при производительности установки до 2 м³/ч. При содержании взвеси в исходной воде более 150 мг/л (в пределах 1,5–2 г/л) рекомендуется двухступенчатая схема очистки. В качестве первой ступени используют отстойник, устраиваемый в виде резервуара, совмещенного с регулирующим бассейном, или параллельно оросительному каналу вблизи насосной станции. Продолжительность отстаивания следует принимать не менее 2 ч. Канал-отстойник должен быть оборудован донной системой смыва осадка, работающей при периодическом открытии входных и выходных затворов (рис. 10.10).

Взамен отстойников первой ступени очистки можно применять водозаборный оголовок с кассетным фильтром с крупногранульной загрузкой, а на второй ступени — установки «Компакт-2» диаметром 2,6 м. Использование

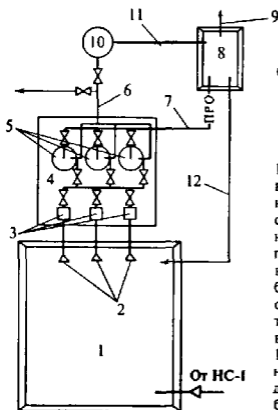


Рис. 10.10. Водозаборно-очистной узел с установками «Компакт-2» системы капельного орошения на опытном участке института им. Р.Р. Шредера (Ташкент):

1 — водозаборный бассейн; 2 — всасывающие трубопроводы; 3 — насосы; 4 — здание насосной станции; 5 — водоочистные установки «Компакт-2»; 6 — трубопровод подачи очищенной воды в водонапорную башню; 7 — трубопровод промывной воды; 8 — отстойник промывной воды; 9 — трубопровод сброса промывной воды; 10 — водонапорная башня; 11 — перелив водонапорной башни; 12 — трубопровод сброса воды, осветленной промывкой, в бассейн

в качестве первой ступени серийно выпускаемых установок «Компакт-2» диаметром 1 и 1,2 м допускается при их производительности до 30 и 40 м³/ч соответственно.

По условиям технологии изготовления допустимое давление воды на входе в установки «Компакт-2» всех типоразмеров не должно превышать 0,6 МПа. Максимальные потери напора за фильтроцикл зависят от загрязненности воды и конструкций верхней дренажной системы, но не должны превышать 0,15 МПа.

Вторая ступень очистки представляет собой установки «Компакт-2», производительность которых зависит от содержания взвешенных частиц и их дисперсности в исходной воде исходя из расчетной скорости фильтрования в пределах 15–33 м/ч. При содержании до 70 % частиц размером ≤ 50 мкм рекомендуется нижний предел скорости фильтрования. Оросители трубопроводов «Варио-Дрип», «Агро-Дрип», водовыпуски типа «Молдавия-4АМ» и им подобные требуют наряду с очисткой исходной воды обязательные профилактические промывки поливных трубопроводов и водовыпусков. При цветении воды с развитием синезеленых, диатомовых и других водорослей воду в бассейнах и местах водозабора из оросительных каналов рекомендуется обрабатывать раствором медного купороса.

Включение в систему орошения водонапорных башен с баком вместимостью до 50 м³, устанавливаемых после узла очистки воды, позволяет стабилизировать работу водоочистных установок, гарантировать предотвращение попадания загрузочного материала фильтров в случае выхода из строя верхней сборно-распределительной системы фильтров и стабилизировать напор в голове поливного участка.

При размещении станции или узла водоочистки на расстоянии от реки или канала более 250–300 м следует устраивать специальные резервуары для сбора промывной воды, ее последующего двухчасового отстаивания и возврата в коллектор исходной воды. При соответствующих условиях, по согласованию с агрономическими службами, допускается использование промывной воды для полива

растений по бороздам или сброс ее в каналы и реки ниже по течению водозаборов.

Анализ проектов станций водоподготовки систем капельного орошения, выполненных институтом «Узгипроводхоз», показал, что проектирование фильтровальных станций с установками «Компакт-2» лишь по номинальным расходам, без учета указаний СНиП 2.04.02-84 по установке резервных фильтров затрудняет при последующей эксплуатации контроль за состоянием верхних сборно-распределительных систем. Проектируемые схемы автоматизации работы насосных станций со ступенчатым включением и отключением насосных агрегатов не согласуются с работой зернистых фильтрующих слоев, из которых при резком изменении расхода возможен вынос задержанных загрязнений. Поэтому при проектировании фильтровальных станций существующих систем орошения необходим согласованный режим работы насосов и фильтров с соблюдением требований технологии очистки воды.

Монтируют установки в узле водоочистки с общими коллекторами подачи исходной, фильтратной и промывной воды. При этом предусматривают возможность отключения любой установки при выходе ее из строя или проведении планово-профилактических работ.

Осадочная часть резервуара для приема и отстаивания промывных вод должна быть рассчитана на объем осадка, накопленного за 2–3 месяца работы системы. Уплотненный осадок удаляют из резервуара периодически (2–3 раза в год) с помощью передвижной насосной станции и вывозят на поля орошения.

Коллектор отвода фильтрата должен быть оборудован отсекающей от сети задвижкой и контрольным водовыпуском с задвижкой. Последний позволяет контролировать качество воды после очистки и исправность дренажных систем установок. Каждую установку оборудуют манометрами и пробоотборниками контроля качества очищенной и исходной воды и роста потерь напора в загрузке и на дренажных системах при эксплуатации.

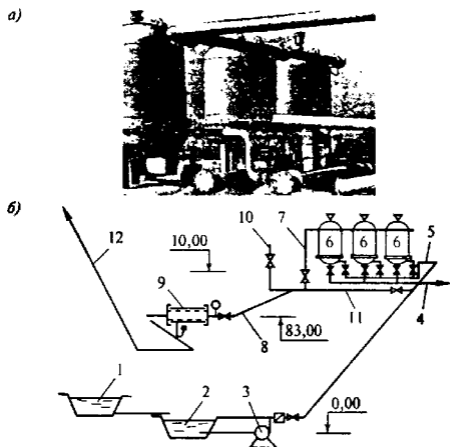


Рис. 10.11. Водозаборно-очистной узел с установками «Компакт-2» и сетчатым фильтром на системе капельного орошения совхоза-завода «Алушта» в Крыму:

a) – общий вид; б) – схема; 1 – водохранилище; 2 – приемный резервуар; 3 – насосная станция; 4 – трубопровод сброса промывных вод; 5 – трубопровод подачи исходной воды; 6 – установки УОВ-1,2-37,3 «Компакт-2»; 7 – трубопровод сброса очищенной воды после установок; 8 – трубопровод осветленной воды; 9 – сетчатый фильтр фирмы «Фрифлоу»; 10 – сбросной трубопровод; 11 – обводная линия; 12 – трубопровод подачи очищенной воды в сеть

К 1990 г. в эксплуатации были десятки станций очистки воды в системах орошения в Узбекистане, на Украине и в Молдове, в частности, станции водоподготовки системы капельного орошения института им. Р.Р.Шредера (Ташкент), колхоза «Красная Коммуна» Паркентского района Узбекистана, совхоза-завода «Алушта» (Крым). Фрагменты этих станций показаны на рис. 10.10 и 10.11.

Система капельного орошения института им. Р.Р. Шредера — одна из первых в промышленной эксплуатации в Узбекистане. До ее строительства земли орошали по бороздам; насосная станция с установками «Компакт-2» была привязана к регулирующему бассейну-отстойнику второго подъема. Эта система укомплектована водовыпусками «Молдавия-1А», «Узгипроводхоз-2», поливными трубопроводами с водовыпусками типа «Варио-Дрип». После насосных станций второго подъема на этих системах устанавливают водонапорные башни для стабилизации напоров в поливной сети. На насосных станциях также смонтированы дозаторы-вытеснители для введения удобрений в поливную воду и аппараты для насыщения поливной воды микроэлементами (разработка НПО «Радуга»).

Система орошения совхоза-завода «Алушта» построена при участии американской фирмы «Valmont» с поливными трубопроводами и водовыпусками типа «Olson», поставленными этой фирмой. Очистка воды предусмотрена двухступенчатой. Исходная вода из водохранилища через донный водовод поступает в приемный резервуар 100 м³, откуда насосами ЦВС-198 с рабочим напором до 2 МПа подается на высоту около 100 м в коллектор исходной воды водоочистной станции. После очистки осветленная вода через сетчатый фильтр фирмы «Фрифлоу» идет в поливные трубопроводы. Анализы качества воды после установок «Компакт-2» на перечисленных станциях показали соответствие нормативным требованиям.

10.3. Улучшение агробиологических качеств оросительной воды

Водоподготовка для систем орошения при наличии стационарной водораспределительной сети с доставкой поливных вод непосредственно в корнеобитаемую зону растений позволяет решить ряд специфических задач, связанных с повышением плодородия орошаемых почв и эффективности поливной сети (введение удобрений и

микроэлементов с поливной водой; приготовление и дозирование растворов для промывки сети и подавления развития в ней органики; повышение биологической активности поливной воды омагничиванием, дегазацией и применением катодного подкисления). Внесение удобрений и микроэлементов нашли широкое применение в практике; промывка распределительной сети и подавление развития водорослей применяются в отдельных случаях. Методы повышения биологической активности наряду с подтверждением их эффективности иногда не приносят ощутимой пользы из-за отсутствия развитой теории их воздействия на биосистемы.

Внесение удобрений с поливной водой получило распространение за рубежом, что объясняется наличием мощной промышленной базы по выпуску в жидком виде практически любых удобрений и комплексных питательных растворов. Возможность внесения удобрений на станциях водоподготовки следует обосновывать на стадии проектирования, ибо их непродуманное применение приводит неизбежно к интенсивному развитию водорослей в зернистых фильтрах и сетях, особенно при интенсивном прогреве оросительной воды вместе с внесением удобрений, к засорению сетей и водовыпусков органическими осадками. Кроме того, промышленные удобрения содержат нерастворимые грубодисперсные примеси, ускоряющие кольматацию фильтров и забивку водовыпусков.

Азотные удобрения сульфат и нитрат аммония, мочевины могут применяться в малых концентрациях без вредных последствий для оросительной воды и поливной сети. Безводный аммиак, водный аммиак и аммофос могут вызывать образование осадков, засоряющих водовыпуски, особенно при высоком рН воды. Фосфорные удобрения образуют осадки с высоким содержанием гидроокислов кальция и магния; их обычно вносят автономно, минуя оросительную сеть. Калийные удобрения не вызывают трудностей при внесении с водой и обычно подаются в поливную сеть. Микроэлементы (марганец, цинк, железо, медь и др.) применяются в виде растворимых солей, но каждый из них рекомендуют вносить отдельно для

предупреждения их взаимодействия и осаждения в водовыпусках.

Концентрации используемых растворов удобрений обычно составляют 4...100 мг/л, причем их величины следует постоянно и тщательно измерять после фильтров и в конце последнего поливного трубопровода, чтобы убедиться в нормальной работе системы орошения.

В отечественной практике ввиду отсутствия в промышленном производстве жидких удобрений разработана установка для внесения микроэлементов с поливной водой, в которой используется принцип анодного растворения металлов [6]. Схема одной из установок показана на рис. 10.12.

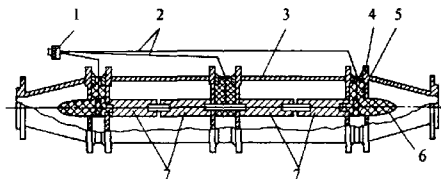


Рис. 10.12. Установка для получения и внесения в поливную воду микроэлементов:

- 1 — штекер присоединения питания; 2 — подача тока; 3 — корпус; 4 — фланцевый разъем; 5 — изолятор; 6 — обтекатель; 7 — растворимые электроды из различных металлов

Корпус установки — катод изготовлен из двух отрезков стальных труб с фланцевыми окончаниями и внутренним антикоррозионным покрытием. Анодами для получения ионов являются блоки цинка, меди, кобальта и молибдена, изолированные между собой и размещенные в корпусе коаксиально. Изоляционные кольца обеспечивают крепление корпуса установки и фиксирование в нем анодов. Напряжение на аноды и катоды подают через выводы 2, смонтированные на штепсельном разъеме. Наконечники 6, прилегающие анодным стержням обтекаемую форму, сокра-

щают гидравлические потери. Резиновые уплотнительные кольца 5 герметизируют корпус установки.

Установка поставляется с пультом управления, в котором смонтирована электрическая схема, обеспечивающая функциональное включение и выключение узлов установки и фиксирующая режим ее работы с помощью контрольно-измерительных приборов. Техническая характеристика устройства для внесения микроэлементов представлена ниже.

Показатели	Значение показателей
Рабочие параметры	
напряжение, В	12...36
сила тока, А	3...9
Масса анода, г:	
медь	2700
цинк	1400
кобальт	2690
молибден	3140
Масса пульта управления, кг	2,5
Источник питания	Аккумуляторы (6ст-128 или 6ст-105), электрогенераторы и др.

Устройство обеспечивает приготовление в результате электрохимических реакций рабочих растворов микроэлементов и их дозированную подачу в смеси или раздельно. Введение жидких удобрений в воду осуществляют дозаторы-вытеснители различных конструкций разработки ВНИИМиТП, УкрНИИГиМ, Узгипроводхоз и др. Дозаторы представляют собой напорные емкости с быстросъемными крышками. Раствор из емкости поступает в магистральный или участковый трубопровод за счет перепада, создаваемого на трубопроводе местным гидравлическим сопротивлением. Недостатком этого типа дозаторов является неравномерная подача раствора удобрений в сеть, обусловленная принципиальной схемой бака-дозатора, у которого кривая изменения выход-

ной концентрации имеет ярко выраженный экспоненциальный характер с экстремумом в начале работы. Этого недостатка лишена схема реагентного хозяйства (растворный, расходный баки и насос-дозатор), которая будучи более материалоемкой обладает высокой надежностью и используется длительное время на станциях очистки воды для питьевого и технического водоснабжения. Эта схема реализована в описанной ниже установке для промывки поливной сети.

Направленное изменение физико-химических свойств поливной воды путем физических воздействий на нее существенно интенсифицирует производство сельскохозяйственных культур. Для физических воздействий используют электромагнитные поля, ультра- и инфразвуковые колебания, дегазацию и термообработку, электрохимические воздействия и др. [8]. Общим в этом многообразии методов физической активации водных систем является то, что ее последствия долго сохраняются (несколько часов или суток) и, если нет вторичных механизмов — «закрепителей» эффектов, самопроизвольно постепенно исчезают. Теоретического обоснования происходящих процессов пока нет.

Установлено, что магнитная обработка воды значительно повышает урожайность различных сельскохозяйственных культур, способствует расселяющему действию оросительных и минерализованных вод. Корни растений при поливе омагниченной водой развиваются более интенсивно, активизируется их действие по поглощению питательных веществ и влаги, что способствует формированию благоприятного солевого профиля почвы и повышает агробиологическую устойчивость культур, их урожайность при поливе омагниченной морской водой. Средний годовой экономический эффект от внедрения устройств для омагничивания при поливе овощных и кормовых культур — 170,7 руб/га (в ценах 1987 г.) [1].

Конструктивно устройства для омагничивания воды представляют собой постоянные или электромагниты, при пропуске через зазоры которых осуществляется магнитная активация воды. При поливах омагниченной во-

дой абсолютное накопление в растениях основных элементов питания (азота, фосфора, калия) на 14...20 % выше, чем у растений, поливаемых обычной водой. Полив омагниченной водой способствовал более интенсивному (на 15...20 %) выносу растениями основных питательных элементов из грунта. Кроме того, при орошении омагниченной водой рассада (например, огурцов) в теплице благодаря ускоренному накоплению органического вещества достигает кондиционного состояния на 4...5 дней раньше, чем у обычно поливаемых. При этом наблюдается лучшее развитие всего растения, особенно его корневой системы, что ускоряет приживаемость рассады при пересадке в грунт.

Частичное удаление из воды растворенных газов значительно изменяет ее биологические свойства; полив дегазированной водой повышает урожайность орошаемых культур. Удаление растворенных в воде газов осуществляют с помощью специальных устройств — деаэраторов, действующих по принципу термической или ультразвуковой обработки воды. Для стимулирования и ускорения физиологических процессов в растениях и в целом для увеличения урожая в некоторых случаях в практику орошения внедряется введение с поливной водой углекислого газа CO_2 в зону корнеобитания.

В США в последние годы практикуется внесение с оросительной водой синтетических структурообразователей почвы и, в частности, полиакриламида. Появившиеся в 50-е годы порошкообразные синтетические структурообразователи, закапываемые в почву сухими, быстро исчезли с рынка из-за высокой стоимости и чрезмерно высоких доз (порядка 2,5 т/га), затруднявших внесение. Новые синтетические структурообразователи — гели, вносимые с поливной водой, — требуют значительно меньших доз. Так, для предотвращения образования почвенной корки достаточна доза полиакриламида 0,8...3,1 кг/га при поливной норме 32 м³/га. Для улучшения структуры почвы в пределах всего пахотного слоя необходима доза полиакриламида \approx 11,2 кг при поливной норме 400...500 м³/га. Срок действия структурообразователя превышает один год.

10.4. Основы проектирования водозаборно-очистных сооружений и установок

При проектировании узла забора и водоочистки и очистных станций крупномасштабных СКО следует:

- выбрать метод очистки и состав сооружений;
- определить расчетную производительность очистной станции или узла очистки воды;
- составить технологическую схему узла водоочистки и произвести ее высотную увязку с другими элементами системы;
- в случае необходимости произвести проверочный расчет и конструирование очистных устройств (напорные сетчатые фильтры, гидроциклоны, зернистые фильтры, комбинированные водоочистные установки);
- произвести расчет технологических трубопроводов обвязки станции очистки и устройств подачи и регенерации промывных вод.

Расчетная суточная производительность очистной станции:

$$Q_{\text{сут}} = T Q_{\text{пол}} + Q_{\text{с.п.}}, \quad (10.8)$$

где $Q_{\text{пол}}$ – максимальный часовой расход на полив, м³/ч; $Q_{\text{с.п.}}$ – расход воды на собственные нужды станции (промывка сеток или зернистой загрузки и пр.); T – время полива в течение суток, ч

$$Q_{\text{с.п.}} = k T Q_{\text{пол}}, \quad (10.9)$$

где $k = 0,01 \dots 0,03$ – коэффициент учета расхода воды на собственные нужды очистных сооружений в долях от количества воды, очищенной за время полезной работы станции в сутки.

Для СМО, оборудованных самопромывающимися водо-выпусками, необходимо максимальный часовой расход станции определять из условия включения сети капельного орошения в работу при повышенных промывных расходах на поливных трубопроводах $Q_{\text{пр}} = (1,2 \dots 1,15) Q_{\text{пол}}$. Технологическая схема станции очистки воды должна отражать плановое и высотное расположение всех сооружений очистки и коммуникаций, обслуживающих их (рис. 10.13).

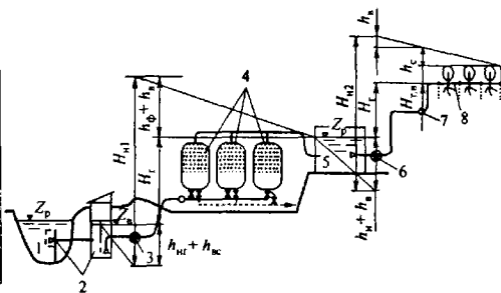


Рис. 10.13. Высотная схема сооружений СКО:

1 — водоисточник; 2 — водозабор; 3 — насосная станция первого подъема; 4 — узел водоочистки; 5 — резервуар чистой воды; 6 — насосная станция второго подъема; 7 — магистральный трубопровод; 8 — распределительная сеть с водовыпусками

На высотной схеме обозначают все отметки (оси расположения верха и низа сооружений, уровней воды в них и т.п.). Потери напора на очистном сооружении складываются из потерь напора в самом фильтрующем элементе (сетки, зернистая загрузка, циклоны), его отдельных конструктивных частях (сопла, дренажные системы, запорная арматура) и технологических трубопроводах и составляют обычно $0,1 \dots 0,15$ МПа.

На высотной схеме, помимо очистных, показывают водозаборные, водораспределительные и напорно-регулирующие сооружения во взаимосвязке по напорам. План технологической схемы необходим для подсчета капитальных затрат по основным сооружениям и технологическим трубопроводам, а также для увязки трассы основных коммуникаций очистной станции с другими элементами СКО. Расчет и конструирование основных очистных устройств осуществляется с учетом типоразмеров и основных технических характеристик средств очистки воды, выпускаемых промышленностью.

Расчет и конструирование фильтров с плавающей загрузкой ФПЗ-3,4-150 (ФПЗ-2,5-80, ФПЗ-1,6-33). Общую площадь фильтров ФПЗ, работающих в напорном режиме, следует определять по формуле:

$$F = \frac{Q_n}{V_{p,n}(T_p - t_n n_o)}, \quad (10.10)$$

где Q_n – полезная суточная производительность фильтровальной станции, м³/сут; $V_{p,n}$ – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме, м/ч (принимается равной для фильтров ФПЗ – 16,5 м/ч); T_p – продолжительность работы станции в сутки, ч; t_n – время простоя фильтра, связанное с его промывкой, ч; n_o – число промывок фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации, шт.

Число промывок фильтра в сутки определяют по формуле:

$$n_o = \frac{24}{t_\phi}, \quad (10.11)$$

где t_ϕ – продолжительность фильтроцикла, ч.

Количество фильтров, устанавливаемых на фильтровальной станции, определяют по формуле:

$$N = \frac{F}{f}, \quad (10.12)$$

где f – площадь одного фильтра, м² (зависит от типоразмера применяемого корпуса напорных фильтров).

Высотная и плановая схемы водоочистой станции с фильтрами ФПЗ-3,4-150 представлена на рис. 10.14. При компоновке высотной схемы между потерями напора и располагаемым напором должно выполняться соотношение:

$$H_o \geq \sum_{j=1}^n h_j, \quad (10.13)$$

где H_o – располагаемый напор, т.е. создаваемый насосами, МПа; Σh_j – суммарные потери напора на водозаборно-очистных сооружениях, МПа; $\Sigma h_j = h_i + h_\phi + h_2 + h_c$, (10.14) где h_i – потери напора в подающем трубопроводе и запорно-регулирующей арматуре, МПа; h_ϕ – предельные потери напора в загрузке и сборно-распределитель-

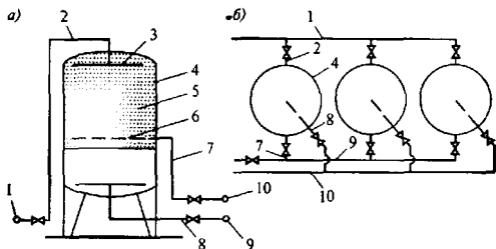


Рис. 10.14. Станция очистки воды для СКО с фильтрами ФПЗ-3,4-150 (ФПЗ-4М):

a) – разрез; *б)* – план; 1 – коллектор исходной воды; 2 – трубопровод подачи воды на ФПЗ; 3 – верхняя распределительная система; 4 – корпус ФПЗ; 5 – плавающая загрузка из гранул пенополистирола; 6 – средняя сборная система; 7 – трубопровод отвода фильтрата; 8 – трубопровод отвода промывной воды; 9 – коллектор очищенной воды; 10 – коллектор промывной воды

ных системах фильтра, МПа (принимаются равными $h_{\phi} = 0,1$ МПа); h_2 – потери напора в трубопроводе и запорно-регулирующей арматуре, подающих очищенную воду в систему капельного орошения, МПа; h_c – рабочий напор в сети капельного орошения, МПа.

При промывке фильтра должно выполняться соотношение:

$$H_o \geq \sum_{i=1}^n h_{in}, \quad (10.15)$$

где h_{in} – суммарные потери напора на водозаборно-очистных сооружениях при промывке, МПа;

$$\sum h_{in} = h_{1п} + h_{\phiп} + h_{3п} + h_4, \quad (10.16)$$

где $h_{1п}$ – потери напора в подающем трубопроводе и запорно-регулирующей арматуре до фильтра при пропуске промывного расхода, МПа; $h_{\phiп}$ – потери напора в загрузке и сборно-распределительных системах фильтра при пропуске промывного расхода, МПа; $h_{3п}$ – потери напора в трубопроводе и запорно-регулирующей арматуре, отводящих промывную воду от фильтра, МПа; h_4 – минимальный располагаемый напор для промывки фильтров, $h_4 \geq 0,02$ МПа.

Техническая документация на фильтры ФПЗ-3,4-150 диаметром 1,6; 2,5 и 3,4 м разработана ПКО ГСКБ по капельному орошению НПО «Радуга». Серийное изготовление фильтров ФПЗ-3,4-150 налажено на ПО «Автополив» (г. Тирасполь, Молдова). Оптовая цена фильтра с загрузкой и контрольно-измерительной арматурой составляла 19500 руб. (цены 1990 г.).

Расчет и конструирование станции очистки с установками «Компакт». Общую площадь фильтрования установок «Компакт-2» и им подобных, их количество и число промывок в сутки следует определять по формулам (10.10)...(10.14). Потери напора на станции очистки воды, оборудованной установками «Компакт-2», рассчитываются по формулам (10.12)...(10.16). При компоновке станции очистки воды с установками «Компакт-2» следует учитывать, что количество установок должно быть не менее двух, так как промывка одной установки осуществляется фильтратом другой (рис. 10.15).

Техническая документация на установку «Компакт-2» диаметром 1,2 м разработана под руководством автора ПКО ГСКБ по капельному орошению НПО «Радуга». До 1992 г. в эксплуатацию были введены десятки станций для очистки воды в системах орошения в Узбекистане, на Украине и в Молдове. Высотное размещение напорных установок типа «Компакт-2» на конкретных системах капельного орошения зависит от геометрической высоты расположения диктующей точки (ДТ) на трассе водораспределительной сети, ее удаленности от места предполагаемого размещения установок, качества воды, поступающей на фильтры, требований капельных водовыпусков к степени очистки воды и суммарных потерь напора от водочистных установок до диктующей точки.

За диктующую точку на одном из участковых трубопроводов (рис. 10.16) принимают ту, которая наиболее удалена от насосной станции и наиболее высоко расположена. Минимальный располагаемый свободный напор в этой точке обусловлен минимально допустимым напором воды у каждой из капельниц, размещенных на «диктующем» поливном трубопроводе, который обеспечивает рабочий (капельный) режим истечения.

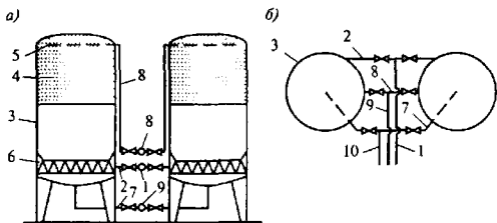


Рис. 10.15. Станция очистки воды для СКО с двумя установками «Компакт-2»:

a) – разрез; *б)* – план; 1 – коллектор подачи исходной воды; 2 – трубопровод для тангенциального подвода воды к установке; 3 – корпус; 4 – плавающая загрузка из гранул пенополистирола; 5 – верхняя сборно-распределительная система; 6 – блок микро-ситонов; 7 – трубопровод отвода промывной воды; 8 – трубопровод отвода очищенной воды в СКО; 9 – коллектор подачи очищенной воды в СКО; 10 – коллектор отвода промывной воды

При восходящем уклоне местности от насосной станции до места расположения магистрального трубопровода (МТ) место расположения диктующей точки находится обычно на УТ-4, в его начале или середине, в зависимости от соотношения отметок расположения предполагаемых диктующих точек и суммарных потерь напора на участке от блока очистки. Отметка уровня воды в фильтре с открытым зеркалом воды должна быть выше отметки располагаемого свободного напора у диктующей точки (ДТ) на величину суммарных потерь напора по тракту движения воды от фильтра до ДТ:

$$Z_{\text{ф}} = H_{\text{св}}(\text{ДТ}) = 0,1 \text{ МПа} + \Sigma h_{\text{ДТ-Ф}}. \quad (10.17)$$

При сложном рельефе орошаемого участка бассейн и фильтр располагают по возможности на более высоком участке, откуда вода могла бы поступать самотеком к потребителям. Выбор трассы магистрального трубопровода и места расположения очистных сооружений обосновывается гидравлическим расчетом и экономическими параметрами системы.

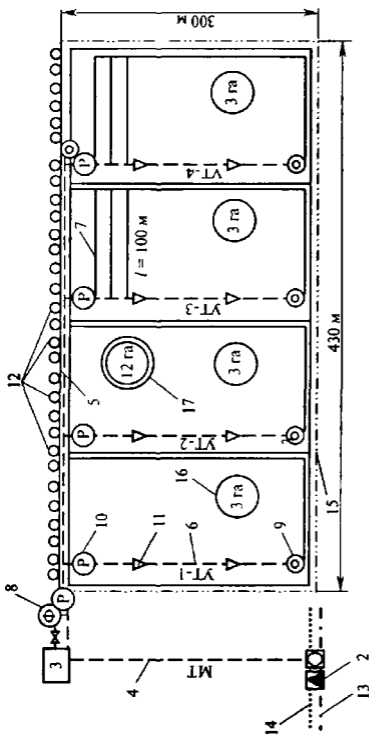


Рис. 10.16. Трубопроводная сеть модульного участка капельного орошения

при уклоне $i = 0,05 \dots 0,1$; $F = 12 \text{ га}$:

1 – насосная станция; 2 – трансформаторная подстанция; 3 – напорный бассейн; 4 – магистральный трубопровод; 5 – распределительный трубопровод; 6 – участокный трубопровод; 7 – полевой трубопровод; 8 – фильтр; 9 – колодець опорожнения; 10 – колодець распределительный; 11 – переход; 12 – тройник; 13 – угольник; 14 – задвижка; 15 – дорога; 16 – лесополоса; 17 – линия электропередач; 18 – линия связи; 19 – граница модульного участка; 20 – площадь одноврсменного полива; 21 – площадь модульного участка

Промывную воду от «К-2», безнапорных ФПЗ-1 и бассейнов следует применять для полива по бороздам близрасположенных участков орошаемого массива, используя естественный уклон местности. Схема увязки напорных установок «Компакт-2», обслуживающих за сутки участки капельного орошения с площадями до 40 га, приведена на рис. 10.15. При больших орошаемых площадях следует применять батарейную компоновку станции очистки оросительной воды.

Для заданных максимальных значений потерь напора в сетях общая рабочая площадь сеток с учетом опорных и других конструктивных элементов рабочего полотна установки (площадь брутто) вычисляется по формуле:

$$F = \frac{Q}{v} p k_1 k_2 k_3, \quad (10.18)$$

где k_1 — коэффициент сжатия струи ($1,15 < k_1 < 1,25$); k_2 — коэффициент стеснения отверстий сетки с диаметром проволоки d и размером ячейки в свету b , а также опорными рамками и шарнирами, занимающими часть общей площади ($p = 0,1 \dots 0,2$):

$$k_2 = \left(\frac{b+d}{b} \right)^2 \cdot (1+p); \quad (10.19)$$

k_3 — коэффициент загрязнения рабочей сетки в момент перед промывкой, $k_3 = 1,5$; v — допустимые скорости фильтрования воды (принимаются по паспорту сетчатых фильтров).

Число сетчатых фильтров на станции водоочистки определяется по формуле (10.12). Схема компоновки станции водоочистки с сетчатыми фильтрами представлена на рис. 10.17.

Корпус сетчатых фильтров следует изготавливать из полимерных материалов, а их металлические части — из некорродирующих металлов (алюминий, нержавеющая сталь). Люки для ревизии и замены сеток необходимо оборудовать быстроразъемными соединениями.

Принципы проектирования узла водоочистки с гидроциклонными установками. Количество гидроциклонов на станции водоочистки определяют по формуле:

$$n = \frac{Q_{\text{пол.ч}}}{Q_{\text{ч}}}, \text{ шт.}, \quad (10.20)$$

где $Q_{\text{пол.ч}}$ — часовой расход станции, $\text{м}^3/\text{ч}$; $Q_{\text{ч}}$ — часовой расход гидроциклона, $\text{м}^3/\text{ч}$.

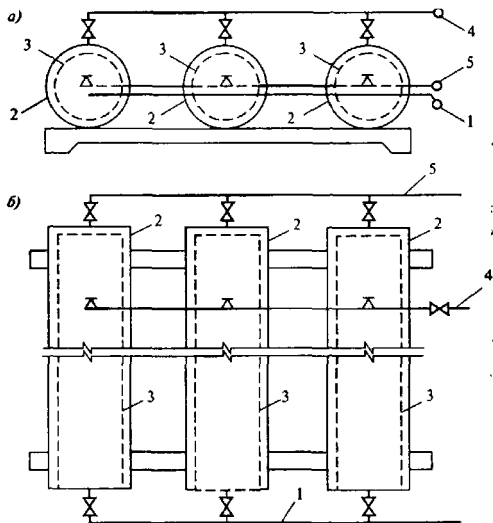


Рис. 10.17. Узел водоочистки систем орошения с сетчатыми фильтрами:

а) — разрез; б) — план; 1 — коллектор подачи исходной воды; 2 — корпус; 3 — сетка; 4 — коллектор отвода очищенной воды; 5 — коллектор отвода промывной воды

Схема узла водоочистки с гидроциклонами и его план представлены на рис. 10.18.

Все элементы гидроциклонов следует изготавливать из износостойких материалов. Отечественной гидропромышленностью выпускаются серийно гидроциклоны диаметром цилиндрической части соответственно от 50 до 250 мм. При конструировании гидроциклонов и проекти-

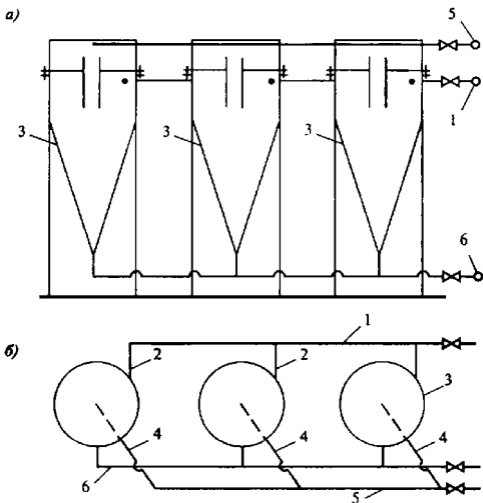


Рис. 10.18. Узел водоочистки систем орошения с батареей гидроциклонов:

a) – разрез; *b)* – план; 1 – коллектор подачи исходной воды; 2 – трубопровод тангенциального подвода воды к гидроциклону; 3 – гидроциклон; 4 – выходной патрубок; 5 – коллектор отвода осветленной воды; 6 – шламовый коллектор

ровании узлов водоочистки на их базе определяют производительность гидроциклона по исходной воде:

$$Q_{\text{ч.исх}} = 864 \frac{d_c}{d_n} W_n \sqrt{2g\Delta H}, \quad (10.21)$$

где d_c , d_n – соответственно диаметры сливного и питательного патрубков, см; W_n – площадь живого сечения питающего отверстия, м^2 ; ΔH – потери напора в гидроциклоне, м.

Производительность гидроциклона по осветленной воде:

$$Q_{\text{ч.исх}} = 3600\alpha\mu_r W_n \sqrt{2g\Delta H}, \quad (10.22)$$

где μ_r — коэффициент расхода ($\mu_r = 0,24$); $\alpha = 0,85 \dots 0,90$ — коэффициент, учитывающий потерю воды с осадком, удаляемым через шламовый патрубок.

Граничная крупность разделения частиц взвеси (диаметр зерна частиц, задерживаемых в циклонах) ориентировочно равна:

$$\delta = A_1 \frac{D^{\alpha_1} d_n^{\beta_1} d_c^{\gamma_1} \mu^{0.5}}{d_m^{\alpha_2} H_u^{\beta_2} H_k^{\gamma_2} Q_n^{\varphi_2} (\rho_1 - \rho_{\text{зк}})^{\varphi_2}}, \quad (10.23)$$

где d_n , d_c , d_m — соответственно диаметры питательного, сливного и шламового патрубков; H_u , H_k — высота цилиндрической и конической части циклонов; D — диаметр циклона; Q_n — расход воды через питательный патрубок; A_1 , α , β , γ , φ — эмпирические коэффициенты, устанавливаемые для каждого вида суспензий.

10.5. Эксплуатация водозаборно-очистных сооружений и устройств

Бассейн-накопитель оросительной воды, куда вода поступает от головной насосной станции, должен быть оборудован: опорными реперами и марками, фиксирующими максимальные, нормальные и минимальные горизонты воды; средствами управления и приспособлениями, позволяющими определять объемы отложений в камерах всасывающих трубопроводов насосов в воде и в удаляемой из отстойника пульпе. Бассейн-накопитель является одновременно осветлителем воды, в котором осаждаются крупные взвеси; рекомендуется поддерживать максимальный уровень воды в нем, периодически (1...2 раза за сезон) производить очистку дна от осадка, проверять фильтрующие устройства на водозаборе, вести надзор за со-

хранностью и исправностью самотечных и сифонных труб и всасывающих труб насосов.

При пуско-наладочных работах на водозаборно-очистных сооружениях кассетного типа необходимо тщательно проверять уплотнения по периметру кассет, предотвращающие свободное проникновение исходной воды в емкость для фильтра. Промывку кассет в водозаборно-очистных сооружениях следует производить по мере их засорения и увеличения потерь напора до 0,2...0,3 м. Перед пуском очистной станции (узла) в работу необходимо осуществить промывку и дезинфекцию сооружений и коммуникаций раствором хлора концентрацией до 100 мг/л в течение 10 мин, протарировать задвижки на технологических трубопроводах подачи исходной и отвода чистой и промывной воды.

При пуске сетчатых, зернистых фильтров и гидроциклонов в эксплуатацию до момента достижения расчетного давления в сети задвижка на трубопроводе, отводящем фильтрат, должна быть прикрытой на 50... 60 %. Два раза в месяц рекомендуется по экспериментальным данным строить кривые кинетики выноса загрязнений из загрузки фильтра в процессе его промывки с целью оценки ее эффективности. Отбор проб промывной воды следует производить через 0,5...1,0 мин. В случае накопления в загрузке или на сетке остаточных загрязнений необходимо увеличить интенсивность или время промывки. При фильтровании планктоносодержащих вод 1 раз в месяц рекомендуется производить дополнительную обработку загрузки фильтров раствором хлора дозой 5...10 мг/л. Два раза в смену следует контролировать качество фильтрата путем определения содержания взвеси и фитопланктона в пробах воды, взятых до и после фильтра.

Потери напора в напорных очистных сооружениях необходимо фиксировать по показаниям манометров, а в безнапорных — по пьезометрам, установленным на трубопроводах, подающих исходную воду и отводящих чистую воду. Фильтроцикл прекращают при ухудшении качества фильтрата до заданного предела или при достижении пре-

дельных потерь напора в фильтрующем элементе. Контроль за расходом воды через средства очистки осуществляют по показаниям водомера, установленного на трубопроводе, отводящем фильтрат. По окончании поливного периода фильтры и циклоны полностью опорожняют, медленно спуская воду через нижнюю сборно-распределительную систему. На зиму задвижки управления фильтрами оставляют открытыми, а измерительную арматуру демонтируют. На каждое очистное устройство или сооружение на станции очистки воды составляют инструкцию по эксплуатации и паспорт.

Отстойник сбора и отстаивания промывной воды оборудуют трубопроводами подачи исходной воды после промывки очистных сооружений, отвода осветленной воды и осадка. Последний выпускают в пониженные места, специально отведенные для его сушки и складирования. Если таких условий нет, то обычно после поливного сезона осадок из отстойника удаляют бульдозером или другими механизмами. В этом случае объем осадочной части отстойника рассчитывают, исходя из объема предполагаемого накопления осадка за поливной период.

Типовая инструкция по эксплуатации водоочистных сооружений и установок на системах орошения должна содержать указания по монтажу, о порядке предэксплуатационных испытаний, указания о режимах эксплуатации, сезонном и профилактическом обслуживании, технике безопасности. В случае оборудования сооружений очистки или установок средствами автоматики дежурный персонал должен быть обучен правилам их эксплуатации и переключений на аварийный или ручной режим управления.

Монтаж установок заводского изготовления производится на месте их эксплуатации согласно сборочному чертежу. Предварительно проверяется комплектность, снимаются транспортные заглушки. Убедившись в отсутствии посторонних предметов внутри труб и задвижек, приступают к монтажу. Монтаж корпусов устано-

вок следует производить на бетонное основание толщиной ≥ 30 см (определяется расчетом) с последующей анкерной опорой. Изменения в монтажной схеме в конкретных условиях не должны препятствовать нормальной работе установок и должны быть согласованы с разработчиком.

Для защиты от атмосферного электричества при монтаже предусматривают заземление. Перед пробным пуском установок производят визуальный осмотр всех соединительных частей с последующим гидравлическим испытанием. В случае невозможности устранения выявленных неполадок на месте выведенное из строя (некондиционное) звено или деталь следует заменить. Предварительные гидравлические испытания напорных установок следует производить в следующем порядке. Включив насосы, заполнить установку водой до срабатывания вентуза. Испытать установку на герметичность максимальным расчетным давлением, обеспечиваемым насосом (обычно не более 0,9 МПа в течение 10 мин). При этом не допускается течь во фланцевых соединениях, в сварных швах, появление трещин в смотровом окне, отсутствие показаний на манометрах или их несовпадение, несрабатывание вентуза или неполное его закрытие. Установленные неисправности устраняются на месте или производится замена неисправных частей.

Литература к гл. 10

1. Журба М.Г. Микроорошение. Проблемы качества воды. — М.: Колос, 1993.
2. Пособие к СНиП 2.06.03.85. — Мелиоративные системы и сооружения. Капельное орошение. — М.: Союзводпроект, 1986.
3. Будыко М.Г. Глобальная экология. — М.: Мысль, 1977.
4. Новик Р.М., Журба М.Г. Засорение капельных водовыпусков и борьба с ними на системах капельного орошения. Обзорная информация ММиВХ СССР. ЦБНТИ. — М., 1984. — Сер. 3. — Вып. 1.
5. Effling D.C. Crop Responce to Trickle Irrigation, Horticulture Reviews (USA), 1982, 1.4, N4, N1.

6. **Журба М.Г.** Улучшение качества воды для систем микроорошения / Сб. ВАСХНИЛ / Повышение качества оросительной воды. – М.: Агропромиздат, 1990.
7. **Плюснин И.И., Голованов А.И.** Мелноративное почвоведение. – М.: Колос, 1983.
8. **Класен В.И.** Состояние и задачи развития проблем физической активации водных систем // Тр. НИИ гидрохимического сырья. – 1982. – № 57.

ГЛАВА 11. ПРЕДОЧИСТКА И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОДОНОСНОМ ПЛАСТЕ

11.1. Фильтры водозаборных скважин и шахтных колодцев

Хотя подземные водоисточники более защищены по сравнению с поверхностными от внешних загрязнений в соответствии с геологическим строением и гидрогеохимическим режимом водоносного пласта, условиями его питания, тем не менее качество воды в них перед подачей потребителям часто требует улучшения. Предподготовку воды в водозаборном узле осуществляют уже на стадии водоотбора из водоносного горизонта. Надежность работы водозаборов (шахтных колодцев, скважин, горизонтальных и лучевых водозаборов) во многом зависит от принятой конструкции фильтров, смонтированных на эксплуатационных колоннах и стволах шахтных колодцев. Их основное назначение состоит в предотвращении попадания в эксплуатационную колонну или шахту песка и мелких частиц обломочных пород при минимально возможном гидравлическом сопротивлении.

Поверхность фильтров водоприемной части подземных водозаборов должна быть приспособленной к гидравлической, химической, электрофизической регенерации. По конструкции и принципу работы фильтры различают по типу фильтрующего элемента (сетчатые, каркасные, с гравийной или полимерной обсыпкой, каркасно-обсыпные, из пористой керамики и спекшихся пористых металлических порошков) и способу разделения фаз: механическое процеживание, в поле центробежных сил, с использованием гидрозатворных гравитационных устройств и др. Основные схемы конструкций фильтров водозаборных скважин приведены на рис. 11.1.

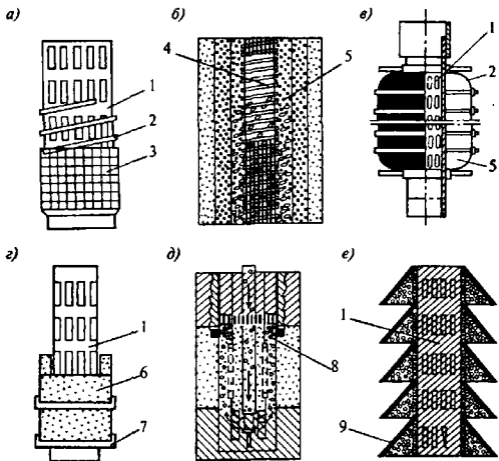


Рис. 11.1. Конструкции фильтров водозаборных скважин:

a) – сетчатый; *б)* – гравийно-обсыпной; *в)* – гравийно-кожуховой; *г)* – полимер-бетонный; *д)* – пенополистирольной обсыпной; *е)* – зонтичный с плавающей загрузкой; 1 – трубчатый перфорированный каркас; 2 – проволока; 3 – сетка; 4 – стержневой каркас; 5 – гравийная обсыпка; 6 – полимербетон; 7 – крепление фильтрующих элементов; 8 – пенополистирольная гранульная обсыпка; 9 – пластмассовые зонтики

Одним из основных требований к таким фильтрам является высокая коррозионная устойчивость против воздействия растворенных в подземной воде газов (O_2 , CO_2 , H_2) и анионов хлора, сульфатов. Наиболее эффективными с точки зрения предотвращения попадания в отбираемую из водоносного пласта воду мелкого песка и пылевидных частиц являются фильтры с гравийно-песчаной или пенополистирольной обсыпкой (рис. 11.1 б, д). Их минималь-

ный диаметр назначают по дебиту скважин или колодцев, удельного сопротивления фильтрующего элемента и конструкции водоподъемного оборудования. При одновременном отборе воды одной скважиной из нескольких водоносных горизонтов для каждого из них подбирают соответствующий тип фильтра. Длину водоприемной поверхности фильтров назначают в зависимости от водопроницаемости породы, гидродинамических условий и мощности водоносного пласта. Для скважин соотношение длины фильтрующей водоприемной поверхности к мощности водоносного пласта существенно влияет на дополнительное фильтрационное сопротивление. Последнее зависит и от принятых соотношений мощности пласта к радиусу скважин. Размер отверстий в водоприемной поверхности фильтров без гравийно-песчаной обсыпки принимают исходя из типа фильтров, коэффициента неоднородности и среднего (d_{50}) диаметра зерен фильтрующей породы водоносного пласта. Для трубчатых с круглой и щелевой перфорацией, проволочных и сетчатых фильтров размеры отверстий фильтров принимают в пределах $D_0 = (1...4) d_{50}$.

В гравийных фильтрах для обсыпки применяют крупнозернистый песок, гравий, песчано-гравийную смесь, гранулированные полимерные материалы. Состав обсыпки рекомендуется подбирать исходя из соотношения $D_{50}/d_{50} = 8...12$, где D_{50} — диаметр частиц песка, меньше которого в обсыпке содержится 50%. При многослойных фильтрующих обсыпках средние диаметры частиц материала соседних слоев обсыпки рекомендуется принимать в соотношениях $D_2/D_1 = 4...6$. Фильтры блочные из пористого бетона или керамики изготавливают также с учетом выдержки соотношения среднего диаметра гравия в блоке фильтров к среднему диаметру частиц водоносной породы $D_{\text{ср.гр.}}/d_{50} \approx 8...16$.

В скважинах небольшого диаметра целесообразны корзинчатые и гравийно-кожуховые фильтры (рис. 11.2). Преимущество последних перед гравийно-обсыпными состоит в возможности более тщательной укладки гравия вокруг фильтрового каркаса при малом зазоре между фильтровой и эксплуатационной колоннами. Они более надежны для оборудования водоприемных поверхностей

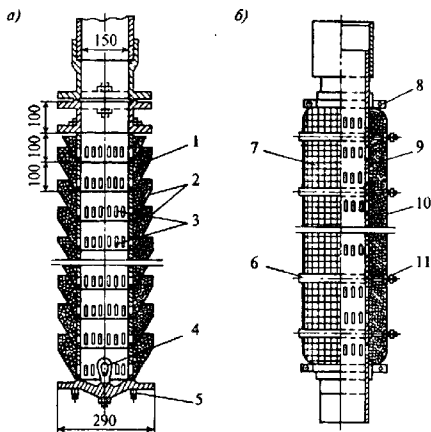


Рис. 11.2. Гравийные фильтры:

a) – корзинчатый; *б)* – кожуховый; 1 – гравийная обсыпка; 2 – чугунные корзинки; 3 – проходные отверстия; 4 – спускное кольцо; 5 – анкерные болты; 6 – стальной обруч для крепления сетки; 7 – сетка панцирная; 8 – зажимной хомут; 9 – опорный каркас из шелевой трубы; 10 – гравийная обсыпка; 11 – штыри для крепления сетки

глубоких скважин, забирающих воду из плывунов и пылеватых песков. К числу недостатков гравийной обсыпки скважинных фильтров относятся: большая плотность гравия, трудоемкость замены фильтра при проведении буровых работ, угловатость формы гранул и др. Исключить эти недостатки позволяет использование в качестве обсыпки фильтров полувспененных гранул полистирола марки ПСВ. Достоинства этого материала описаны в гл. 9 и [1]. Схемы скважин роторного бурения, оборудованных пенополистирольным обсыпным и зонтичным фильтрами, по-

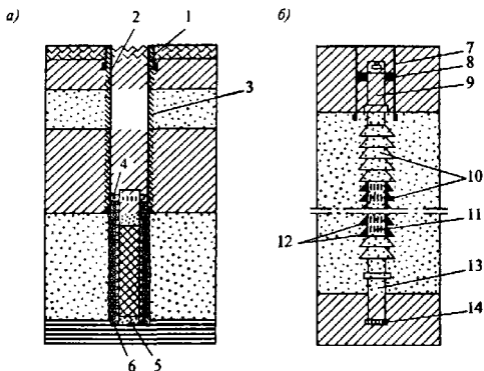


Рис. 11.3. Скважины роторного бурения:

а) – оборудованные пенополистирольным обсыпным фильтром;
 б) – то же, зонтичным фильтром с пенополистирольной обсыпкой; 1 – кондуктор; 2 – эксплуатационная колонна; 3 – затрубная цементация; 4 – перфорированный удерживающий фланец; 5 – фильтровая колонна; 6 – гранулы пенополистирола; 7 – эксплуатационная колонна; 8 – сальник; 9 – надфильтровая труба; 10 – зонтики; 11 – щелевой каркас фильтра; 12 – гранулы пенополистирола; 13 – отстойник; 14 – пробка отстойника

казаны на рис. 11.3. Допустимая скорость фильтрации на границе контакта обсыпки фильтра с водоносной породой находится в пределах $v_{\text{доп}} \approx (20...25)k_{\text{ф}}$, м/сут. Схема за- качки гранул полувспененного полистирола в скважину приведена на рис. 11.4.

Фильтры водозаборных скважин следует изготавливать только из материалов с высокой механической, химической и бактериальной стойкостью. В лучевых водозаборах и горизонтальных водосборах устраивают фильтры также в зависимости от водоносной породы, однако с большей надежностью монтажа при производстве специфичных видов работ. Фильтры шахтных колодцев, каптажей и род-

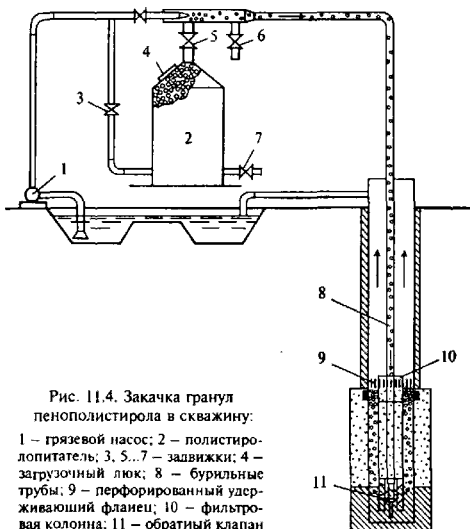


Рис. 11.4. Закачка гранул пенополистирола в скважину:

1 – грязевой насос; 2 – полистиролопитатель; 3, 5...7 – задвижки; 4 – загрузочный люк; 8 – бурильные трубы; 9 – перфорированный удерживающий фланец; 10 – фильтровая колонна; 11 – обратный клапан

ников (рис. 11.5, рис. 11.6), так же как фильтры водозаборных скважин, должны обеспечивать подачу потребителям воды без песка и механических примесей, иметь малое сопротивление, достаточную механическую прочность и химическую стойкость, быть промышленными и экономичными в изготовлении. При заборе воды из мелкозернистых и пылеватых песков их водоприемную поверхность оборудуют гравийно-клеевой или пенополистирольной обсыпкой или обратной гравийно-песчаной обсыпкой. Регенерируют фильтры подземных водозаборных сооружений с помощью специальных химических растворов, электрофизических и механических методов [2...4].

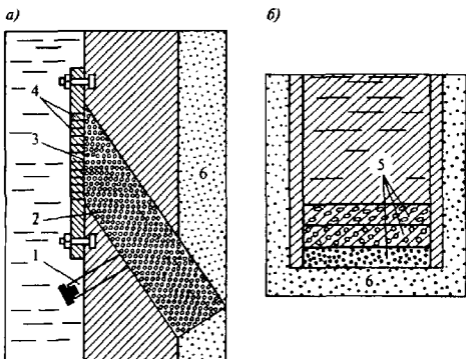


Рис. 11.5. Фильтры шахтных колодезев:

a) – с пенополистирольной обсыпкой; *б)* – с обратным гравийным фильтром; 1 – патрубок для закачки-выпуска гранульной обсыпки; 2 – дренажный канал; 3 – гранулы пенополистирола; 4 – водоприемные окна; 5 – слои гравия; 6 – водоносный горизонт

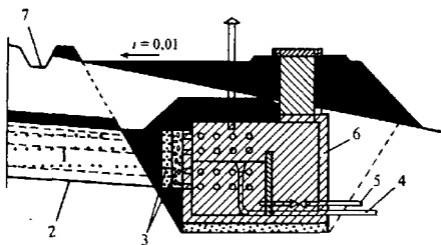


Рис. 11.6. Конструкция каптажной камеры нисходящего родника:

1 – водоносный горизонт; 2 – водоупор; 3 – гравийно-песчаный фильтр; 4 – переливная труба; 5 – водозаборная труба; 6 – железобетонная каптажная камера; 7 – дренажная канава

11.2. Обезжелезивание воды в водоносном пласте

Одним из наиболее распространенных методов кондиционирования воды в водоносном пласте является обезжелезивание, основанное на формировании в зоне водоприема условий интенсивного окисления железа и марганца с помощью закачки в водоносный пласт «питательной», обогащенной кислородом предварительно обезжелезенной воды. При присутствии в подземной воде трудноокисляемых форм железа «питательная» вода обогащается не только кислородом воздуха, но и реагентами. При смешении «питательной» воды с водой водоносного горизонта происходят процессы окисления-восстановления с образованием гидроксида железа. Задержание гидроксидов происходит в фильтрующей среде водоносной породы.

Установки для внутрипластовой очистки подземных вод компактны, просты в изготовлении, сооружают их, как правило, непосредственно на водозаборных скважинах, и представляют собой они набор устройств по подготовке и подаче в пласт аэрированной воды. Скважины преобразуются в своеобразные станции водоподготовки, дальнейшая работа которых осуществляется в циклическом режиме по схеме «закачка-откачка» в соответствии с определенным регламентом. Технические решения реализации этой технологии представлены на рис. 11.7. При неглубоком залегании водоносных пластов наиболее приемлема система «Гидроксилинг», особенность которой — устройство вокруг эксплуатационной скважины кольцевого инфильтрационного бассейна.

В системе «Веридокс» используют также скважины поглотительную и эксплуатационную. Однако обогащение внутрипластовой воды кислородом воздуха осуществляется в данном случае с помощью эжекторного устройства и водовоздушного бака, смонтированных на поверхности земли. Во ВНИИ ВОДГЕО

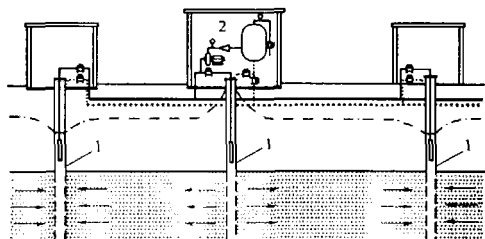


Рис. 11.7. Технологическая схема обезжелезивания подземных вод в водоносном пласте:

1 — скважины; 2 — узел подготовки водовоздушной смеси;
 — — — — — откачка воды из скважин; · · · · · — закачка водовоздушной смеси в водоносный пласт; - - - - - — депрессионная кривая

разработана система, состоящая из одной скважины (рис. 11.8) и сборной емкости с системой трубопроводов и эжекторами для подачи водовоздушной смеси в скважину. Как показали многолетние исследования и опыт внедрения внутрипластовой очистки подземных вод от железа [3], эффективность процесса обезжелезивания в значительной степени зависит от способности водовмещающих пород к адсорбции кислорода. Более чем десятилетний опыт применения технологии внутрипластового обезжелезивания показал, что норма адсорбции кислорода на породах, представленных песками или слабосцементированными песчаниками, оказывается достаточно высокой. Зная эффективность процесса обезжелезивания $h = W_0 / W_3$ (где W_3 — объем поданной в пласт аэрированной воды; W_0 — объем отобранной воды с содержанием железа до предельно установленных норм), удастся выбрать экономически целесообразный регламент работы установок (таблица).

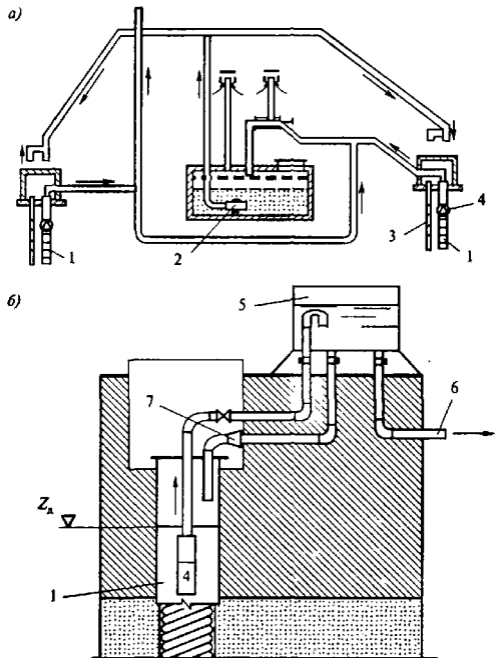


Рис. 11.8. Обезжелезивание подземных вод в водоносном пласте:

a) – система «Веридокс»; *б)* – односкваженная система ВНИИ ВОДГЕО; 1 – скважина; 2 – эжекторное устройство; 3 – погло- тительные скважины для подачи водовоздушной смеси в пласт; 4 – насос; 5 – сборная емкость; 6 – отводы воды потребителю; 7 – трубопровод с эжектором для подачи водовоздушной смеси в скважину

Регламент работы установок

Водозабор	Горизонт	C, мг/дм ³	Количество скважин, шт	Дебит скважин, м ³ /ч	η
«Гауя» (Рига, Латвия)	Песок	1,5...2,5	14	40	22
«Гауя» (Цеснс, Латвия)	Песчаник	2,5...3	6	30	11
Спиртзавод АО «БАХУС» (Воронежская обл.)	Песок	2,5...30	5	30	9
«Орельский» (Днепродзержинск)	То же	3...6	40	50	10
Урай (Тюменская обл.)	Песок	6...8	16	65	5
Детский дом (Московская обл.)	Извест- няк	1,5...2	2	25	5
Злынка (Брянская обл.)	Мел	2,8...3	3	35	6

Сложнее решение вопроса, связанное с внедрением данного метода в водоносных пластах, представленных трещиноватыми породами, для которых характерна существенная плановая и профильная изменчивость фильтрационных параметров и емкостных свойств. Поверхность таких пород значительно меньше, чем у пористых сред, в то время как скорости движения воды в кавернах и трещинах могут быть достаточно высокими. Тем не менее при небольшой производительности скважин удается получить приемлемые результаты. Так, в трещиноватых известняках Московской обл. установка эксплуатируется более 5 лет. В 1996 г. данный метод внедрен на скважинах системы водоснабжения Злынка (Брянская обл.), отбирающих воду из меловых отложений.

В большинстве случаев производительность скважин, каптирующих подземные воды трещиноватых коллекто-

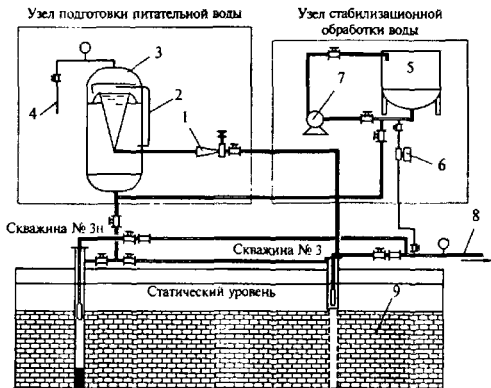


Рис. 11.9. Установка обезжелезивания (г. Выкса):

1 – эжектор; 2 – уровнемер; 3 – дегазатор; 4 – удаление воздуха; 5 – реагентная емкость; 6 – насос-дозатор; 7 – циркуляционный насос; 8 – подача воды в водопроводную сеть; 9 – водоносный пласт

ров, достаточно высока. Многие скважины Московской, Нижегородской, Брянской и других областей РФ эксплуатируют с расходами 80...160 м³/ч и более. Опыты ГНЦ ВНИИ ВОДГЕО на водозаборе Выксы при содержании железа в исходной воде 2,7...3,2 мг/л (рис. 11.9) показали, что в некоторых случаях обезжелезненную воду приходится дополнительно подвергать стабилизационной обработке. Для подготовки аэрированной воды использовали специально разработанные эжектор и напорный дегазатор, рассчитанные на производительность 40 м³/ч. После аэрации и дегазации воду с концентрацией растворенного кислорода 15 мг/л направляли в одну из скважин. Узел подго-

товки аэрированной воды работал непрерывно, скважины № 3 и 3н поочередно менялись.

На первом цикле закачку производили в скважину № 3н. Аэрации при этом подвергалась неочищенная вода из скважины № 3. Закачка продолжалась 85 сут. На втором цикле закачку в скважину № 3 осуществляли уже обезжелезенной водой, получаемой из скважины № 3н. Продолжительность второго цикла составила 2 мес, причем за это время концентрация железа изменялась от 0,3 мг/л в начале цикла до 1,2 мг/л в конце откачки. На третьем цикле установка вышла на промышленный режим работы, и в течение 30 сут вода, отбираемая из скважины № 3, соответствовала требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. Коэффициент эффективности обезжелезивания подземных вод η составил 1,8.

Поскольку скважины № 3 и 3н располагались относительно близко одна от другой, то при работе установки возможен перехват закачиваемой в пласт аэрированной воды скважиной, работающей в режиме откачки. При таком перехвате расход Q_o , отбираемый из скважины, складывается из расхода Q_n , подаваемого в сеть, и расхода Q_z , который в это время закачивается в пласт. При этом в откачиваемой воде может отмечаться появление остаточного кислорода. При наличии в воде агрессивной углекислоты и растворенного кислорода процессы коррозии могут заметно интенсифицироваться. Чтобы избежать коррозии, в схеме предусмотрен узел стабилизационной обработки воды. Для условий водозабора Выксы наиболее приемлемым оказался вариант стабилизационной обработки воды с использованием кальцинированной соды. Доза соды была выбрана так, чтобы после подщелачивания индекс насыщения стал нулевым. Требуемое количество реагента при подаче воды в сеть с расходом $Q_n = 80 \text{ м}^3/\text{ч}$ составило 40 кг/сут, что оказалось достаточным для полного устранения коррозии сети в районе третьей насосной станции.

Литература к гл. 11

1. Журба М.Г. Пенополистирольные фильтры. – М.: Стройиздат, 1992.
2. Абрамов С.К., Алексеев В.С. Забор воды из подземного источника. – М.: Колос, 1980.
3. Алексеев В.С., Коммунар Г.М., Тесля В.Н. Регенерация водозаборных скважин. – М.: Стройиздат, 1995.
4. Плотников Н.А., Алексеев В.С. Проектирование и эксплуатация водозаборов подземных вод. – М.: Стройиздат, 1990.

ГЛАВА 12. ВОДОЗАБОРНО-ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СУРОВОГО КЛИМАТА И ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

12.1. Особенности режима источников водоснабжения

Северная строительно-климатическая зона составляет до 65 % территории России, располагаясь в пределах 35...170° восточной долготы (от Гринвича) и до 50...80° северной широты (рис. 12.1). Здесь проживает 15...17 млн человек. Хозяйственно-экономические и природно-климатические условия этой зоны разнообразны; общими для них являются суровый климат, повсеместное распространение вечномерзлых грунтов, продолжительные зимы, снегозаносы, сильные ветры (пурги).

Экономичность и надежность систем водоснабжения в зоне мерзлоты всецело зависят от принятых технологий приема и очистки воды, типа и конструкций водозаборных и очистных сооружений. Забор и очистка воды на Севере сложны из-за специфичности мерзлотно-гидрологических и гидрогеологических условий; невозможно использовать опыт приема и очистки воды в умеренном климате; необходимы нетрадиционные технологии водоприема и водоочистки с сокращением использования энергии, средств и труда, привозных материалов. Совершенствование технологий водоприема и водоочистки, а также конструкций водозаборно-очистных сооружений для систем водоснабжения на Севере должно обеспечивать наибольшее соответствие местным условиям исходя из экономико-технических возможностей водопотребителей, хозяйственно-экологических и санитарно-гигиенических требований.

Источниками водоснабжения на Севере служат поверхностные (реки, озера, водохранилища, пруды-копа-

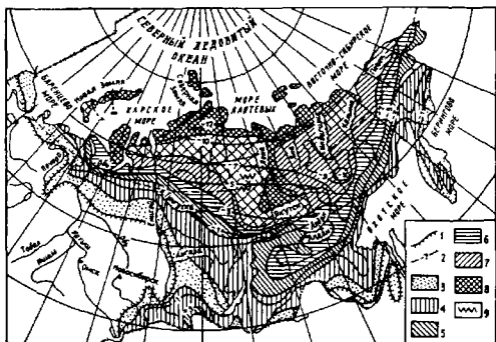


Рис. 12.1. Карта распространения вечномёрзлых грунтов в РФ:

1 — южная граница распространения вечномёрзлых грунтов; 2 — изолиния температуры грунтов на глубине 10 м; 3 — зона островной мерзлоты с толщей до 25 м; 4 — то же, до 100 м; 5...8 — то же, соответственно до 200, 300, 400, 500 м; 9 — участки с толщей мерзлоты более 500 м

ни, редко — моря) и подземные воды (надмерзлотные, межмерзлотные, подмерзлотные), а также снег и лед речных наледей, специально создаваемых льдозапасов. Есть районы, где крупных водоисточников нет, а возможности использования для водоснабжения многочисленных мелких, промерзающих зимой рек, озер и речек ограничены, часто — исключены. Особые трудности возникают при заборе воды и ее очистке зимой, когда из-за сложности (невозможности) ее получения приходится использовать снег и лед, подвоз автотранспортом и др. Условия забора и очистки воды и применяемые для этого сооружения на Севере разнообразны. Мощность залегания многолетнемерзлых (вечномёрзлых) грунтов, их температурный режим, границы распространения приведены на рис. 12.1. К настоящему времени установлены характер и закономерности распространения мерзлоты по отдельным зонам, бас-

сейнам крупных рек и створам [1...3]. Имеются районы и со слабопрерывистым (островным) развитием вечной мерзлоты, и с глубоким зимним промерзанием грунтов [9, 26].

Общие характеристики водоисточников рассматриваемых районов можно получить из справочного картографического материала [5, 6]. Амплитуды абсолютных температур превышают 100°C (в Верхоянске зимой -68°C ; в Оймяконе -71°C ; летом в Тикси $+35^{\circ}\text{C}$, в Якутске — свыше $+40^{\circ}\text{C}$). На обозримую перспективу поверхностные и аллювиальные воды подрусовых отложений рек будут преобладать в водообеспечении промышленности и населения с учетом их мощности, мерзлотно-гидрогеологических и гидрологических характеристик, гидротермических условий, а также полного или частичного их перемерзания. Весьма сложно забрать воду из малых рек, перемерзающих на отдельных участках или на всем протяжении постоянно или периодически. Малые и средние реки — наиболее вероятный и распространенный источник водоснабжения. Режим водоисточников Севера определяется мощностью мерзлоты, низкими среднегодовыми температурами, их длительностью при малом годовом количестве осадков и длительном ледоставе. Зимой атмосферное и грунтовое питание поверхностных источников прекращается с перемерзанием слоя сезонного оттаивания грунтов. Этим определяется крайняя неравномерность стока. Реки весной имеют высокий пик паводка, многие реки, особенно горно-предгорные, характеризуются летними паводками. Реки бассейна Ледовитого океана имеют крайне низкий зимний сток, повышающийся в местах разломов и выходов подземных вод (рис. 12.2, табл. 12.1).

Шуголедовый режим рек определяется уклонами притоков, намного большими, чем основного водотока, и мерзлотно-климатическими условиями. В верховьях рек скорости достигают $3...4$ м/с, а уклоны 25%. Ледостав на реках обычно завершается в октябре. Ледоход растягивается до 2 мес. Реки, текущие на Север, вскрываются с верховий, с большими подъемами уровней и запорами льда. Толщина льда за 7...9 мес зимы достигает 1,5 (на юге) — 2,5 м (в Заполярье). Малые и средние реки на отдельных участках перемерзают вместе с подстилающим аллювием, образуя мощные наледи [7].

Таблица 12.1.

Сведения о режиме рек Севера

Река — пункт	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений, годы	Число лет наблюдений	Средний многолетний расход, м ³ /с				$\frac{Q_{\text{макс}}}{Q_{\text{мин}}}$
				Годовой, Q_g	Наибольший, $Q_{\text{макс}}$	Наименьший, $Q_{\text{мин}}$	Наименьший зимний, $Q_{\text{зим}}$	
Лена — с. Табага	89 700	1927...75	49	7080*	35700	6000	806	44,3
Амга — с. Амга	56 800	1934, 1935, 1939...75	39	182*	2670	55	14,2	188
Алдан — г. Томмот	49 500	1925...75	51	516*	6120	286	54,2	113
Тимптон — п. Усть-Тимптон	43 700	1952...59, 1961...76	23	538*	7940	204	2,07	3836
Тимптон — р.п. Нагорный	613	1926...29, 1934...45, 1947...75	45	9, 47*	240	2,1	—	ПРМЗ
Тимптон — п. Усть-Баралас	13 300	1955...75	21	185*	2970	71,1	2,38	1248
Иенгра — п. Золотинка	961	1954...62, 1964...75	21	15,9*	473	3,7	—	ПРМЗ
Синяя — п. Песчаное	30 400	1944...75	32	40,3*	664	6,32	0,011	60364
Виллой — п. Амбардах	57 300	1965...75	11	333*	4810	56,1	0,27	17815
Виллой — с. Сюльдюкар	168 000	1967...75	9	751*	2870	111	—	—
Яна — Верхоянск	45 300	1926...28, 1935...75	44	150*	1680	82,4	0,005	336000

Река — пункт	Площадь воло- сбора, км ²	Период наблюдения, годы	Число лет наблю- дений	Средний многолетний расход, м ³ /с			$\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}$	
				Голо- вой, Q_r	Наиболь- ший, Q_{\max}	Наименьший летний, Q_s		Наименьший зимний, Q_{\min}
Яна — ГМС Джангкы	216 000	1938...75	38	933*	8400	458	0,43	19535
Инлигрка — п. Усть-Нера	83 500	1944...75	32	434*	4250	240	1,09	3899
Нера — пос. Ала-Чубук	22 300	1944...75	32	118*	1830	47,5	—	ПРМЗ
Аллах-Юнь — п. Аллах-Юнь	650			Пост уреченный, река промерзает				
Аллах-Юнь — п. Сельхоз	15 000	1976...81	5	108	—	—	—	ПРМЗ
Колыма — Среднесколымск	361 00	1927...31, 1934...80	52	2230	17000	1630	50,7	335
Анадырь — п. Ламутское	16 400	1978...80	3	138,8	2256	69,8	—	—
Анадырь — п. Еропол	47 300	1958...80	23	467	6160	234	10,3	598
Анадырь — база Крепость	55 100	1975...80	6	353	3140	245	—	—
Анадырь — с. Снежное	106 000	1958...80	23	987	7040	569	19	371
Пясины с. Кресты Таймырские	34 800			Посты уреченные, река не промерзает				
Пясины — Усть-Тарей	125 000							

* Данные приведены на 1993 г.

На Севере зимний сток рек не превышает 2...5 % годового. Особенности гидрологии рек Севера определяет температура вечной мерзлоты (от 0 °С до -12 °С с юга на север и северо-восток). Чем ниже температура мерзлоты и больше ее мощность, тем сложнее обуславливаемые ею явления, мощнее ледяной покров, ниже температура воды, больше площадь перемерзающего водосбора. Четких зависимостей здесь нет, но на низкотемпературной мерзлоте перемерзают реки (низовья р. Яна) с водосборами до 65 тыс. км², а в ее верховьях — до 25 тыс. км². Повсеместно перемерзают реки (по Г.Е. Чистякову) при водосборах до 10 тыс. км² [8], а реки Магаданской обл. (по А.И. Калабину) — менее 6 тыс. км² [9]. Отдельные перемерзающие участки рек связаны подрусловыми разблещенными потоками. Из мерзлотно-гидрологических явлений, определяющих условия и технологии забора и очистки воды, отметим (рис. 12.3):

- термокарст (просадки при вытаивании подземных льдов) и термокарстовая переработка берегов;

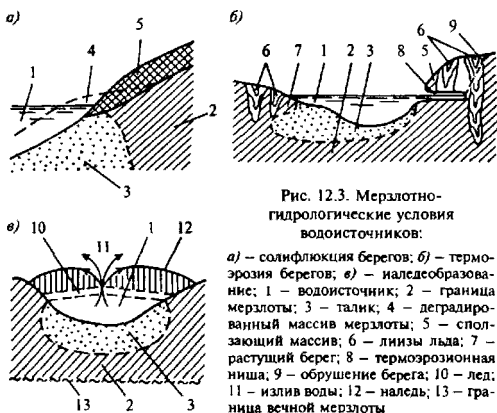


Рис. 12.3. Мерзлотно-гидрологические условия водоисточников:

а) — солифлюкция берегов; *б)* — термоэрозия берегов; *в)* — наледообразование; 1 — водоисточник; 2 — граница мерзлоты; 3 — талик; 4 — деградированный массив мерзлоты; 5 — сползающий массив; 6 — лизы льда; 7 — растущий берег; 8 — термоэрозионная ниша; 9 — обрушение берега; 10 — лед; 11 — излив воды; 12 — наледь; 13 — граница вечной мерзлоты

- термоэрозию и термоабразию берегов (образование своеобразных ниш или «подрубов» с последующим обрушением и размывом);
- солифлюкцию – сползание оттаявших берегов по мерзлому откосу (мерзлотный оползень).

Специфична термика источников Севера. В поверхностных источниках самая высокая температура воды – в июле; со второй половины августа температура снижается и в конце сентября приближается к $+1^{\circ}\text{C}$ и до 0°C , часто охлаждаясь ниже 0°C (табл. 12.2). Последний фактор обуславливает специфику русловых процессов: шуголедовый и ледотермический режим, предопределяет особенности технологий приема и обработки воды, меры по предотвращению перемерзания самих источников, водоприемных и очистных устройств.

Наибольшая переработка и интенсивное разрушение берегов происходят при относительно постоянных и высоких уровнях воды: ниши «подруба» в 10...15 м и более с нависающими консолями мерзлого массива обрушаются в реку (водоем), создавая «блуждание берегов». Скорость переработки берегов и мощь этих процессов возрастают при сочетании термокарста, солифлюкции, термоэрозии и размыва.

Сведения о режиме источников и качестве воды в них систематизированы по отдельным регионам [10, 12]; имеющиеся материалы часто противоречивы. Официальные материалы по минимальному стоку рек Севера и определению расчетных гидрологических характеристик [6, 12] требуют серьезных уточнений при конкретном проектировании. Так, р. Синяя (приток р. Лены) перемерзает в 52 % случаев, но подрусловый сток в ее мощных таликах – надежный источник водоснабжения.

Возникающие в руслах ледяные заторы, их подвижки при подъемах уровней, навалы на берега льдин исключают возможность строительства сооружений в русле или возвышающихся над дном [13]. Поскольку паводок проходит в период, когда грунты мерзлые, то эрозия речными потоками незначительна. Второй пик паводка (июль...август) – «черная вода» активнее половодья и характеризуется значительным повышением твердого стока, мутности и цветности воды тем больше, чем мощнее водотоки [14].

Таблица 12.2.

Сведения о гидротермическом режиме рек Севера

Водоток — пункт наблюдений	Площадь водосбора, км ²	Май			Июнь			Август	Сентябрь	Октябрь	
		Декада			Декада					Декада	
		2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я			2-я	1-я
Лена — Якутск	1697000	2,4	3,2	7,6	12,3	14,5	18,8	17,8	9,8	4,2	1,2
Лена — Кюсюр	2419000	0,9	1,3	5,1	8,3	9,8	14,1	12,1	6,5	1,9	0,3
Алдан — Батамай	729000	1,2	1,5	3,8	9,2	12,6	16,7	15,7	9,9	3,1	0,8
Вилюй — Сунтар	454000	1	1,7	5,8	10,3	16,3	19,2	16,7	8,8	2,7	0,4
Берелех — Сусуман	7140	0,4	1,9	5,2	7,	9,5	11,1	9,8	4,6	0,6	—
Дебин — Белныче	3460	—	1,3	4,8	7,5	10,1	11,8	9,7	3,2	0,3	—
М.Ануй — Илирней	8180	—	0,2	2,6	6,2	9,5	11,3	9,1	1,3	—	—
Ольчан — Туора	1830	—	—	—	4	4,5	7,7	7,5	1,5	—	—
Иргичан — Депутатск	2600	—	—	—	6,2	8,1	10	8,2	0,7	—	—
Аллах-Юнь — Аллах	24200	1,3	4,1	10	11,2	12,2	14,7	14,2	6,1	2,1	—

Примечания: ← — прекращение поледного стока; температура воды близка к 0 °С или ниже.

12.2. Закономерности взаимосвязи поверхностных и аллювиальных вод и формирования таликовых зон под водоисточниками

Аллювиальные воды таликов наиболее желательны для организации водоснабжения, так как требуют минимальной очистки. Подземные источники периодического и постоянного действия, питающиеся надмерзлотными, межмерзлотными и подмерзлотными водами (рис. 12.4), и их режим достаточно подробно освещены в работах А.И. Калабина [9], А.А. Зеленкевича [12], Н.И. Толстихина и О.Н. Толстихина [14, 15], Н.Н. Романовского [18], С.М. Фотиева и др. Перспективны для водоснабжения надмерзлотные подрусовые (подозерные) таликовые воды, т.е. воды аллювиальных отложений речных долин, подозерных таликовых зон [17, 18]. Талики крупных, средних и даже мелких рек и ручьев при перемерзании их поверхностного стока зимой часто решают проблему водообеспечения [3, 9, 18]. В горных районах условия забора

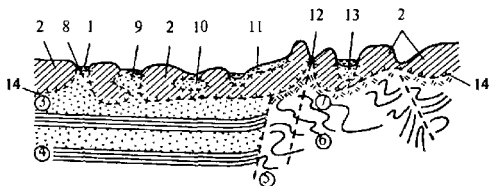


Рис. 12.4. Залегание подземных вод в зоне мерзлоты:

1 — поверхностные источники; 2 — мерзлота; 3 — подмерзлотный водоносный пласт; 4 — подмерзлотный водоупор; 5 — зона разлома; 6 — коренные породы; 7 — подмерзлотная водоносная зона; 8 — сквозной талик под руслом реки; 9 — сквозной талик под озером; 10 — межмерзлотный талик под озером (эласом); 11 — предгорный надмерзлотный талик; 12 — сквозной талик в зоне разлома; 13 — псевдоталик под малым водотоком; 14 — граница мерзлоты

аллювиальных вод улучшаются от верховий вниз по долинам с увеличением водности рек, размеров таликов и стабильности их зимнего режима. Зоны талых грунтов («талики») образуются сквозные — на реках при ширине, равной или большей мощности мерзлой толщи, и замкнутые в мерзлоте — на малых реках (рис. 12.5). Формирующиеся при этом поля температур представлены на рис. 12.5 ж (горизонтальный и вертикальный масштаб отличаются в 50 раз). Ширина талика у уреза воды меньше, чем под руслом, а перемещения водных масс направлены по нормали к изотермам.

При отдаче тепла с поверхности и со дна речные потоки переохлаждаются; с ледоставом температура воды в них всю зиму близка 0°C (у нижней поверхности ледяного покрова), а у дна за счет тепла таликов $+1...2^{\circ}\text{C}$ (до $+3^{\circ}\text{C}$). Мощные сквозные талики создают запасы тепла, прекращая процессы внутриводного льдообразования, при несквозных таликах аналогичные условия — лишь в первую половину зимы. Далее вода в таликах постоянно охлаждается до 0°C вследствие скрытой теплоты льдообразования на ограничивающих поверхностях. Ю.И. Вдовин установил, что смыкание мерзлоты, ограничивающей талик под руслом некоторых рек, происходит, если глубины их подо льдом меньше толщины ледяного покрова. Талики под водоемами формируются иначе, чем под реками [19], определяясь временем заполнения и глубинами (рис. 12.5 з).

По химическому составу воды таликов весьма разнообразны. Наиболее благоприятны воды таликов крупных и средних рек; минерализация в различных горизонтах неодинакова [14, 20]. Лучшая по качеству вода — в подрусловых таликах, гидравлически связанных с реками. Подмерзлотные воды редко используют из-за значительных минерализации ($\geq 10...15$ мг/л) и фтора (до $4...10$ мг/л). Пластовые воды (с глубин более 500 м) используются редко в водоснабжении районов Обского [19] и Европейского Севера [16], Лено-Вилюйского бассейна и других [16] с дебитом скважин $20...30$ м³/ч. Наиболее широко применяют талики, формируемые за счет поверхностных вод в бассейнах Вилюя, Лены, рек Южной Якутии, Забайкалья, Магаданской обл. Технологии приема и очистки аллювиальных вод наиболее просты, доступны, надежны и эко-

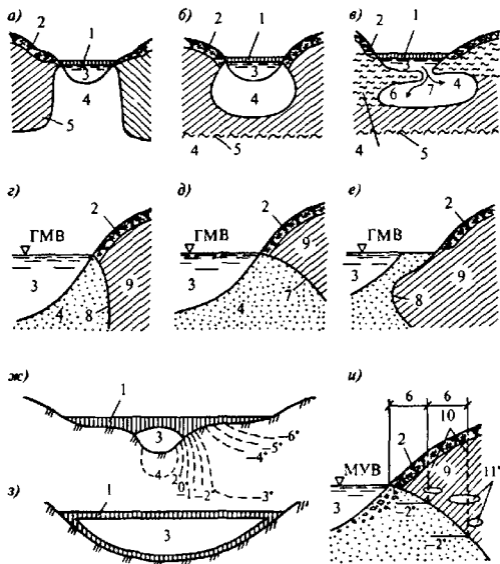


Рис. 12.5. Формирование таликов под водоисточниками:

а) — сквозной талик под большой рекой; б) — несквозной талик (псевдоталик); в) — межмерзлотный талик; г) — форма сопряжения талика с мерзлотой поймы под малыми реками; д) — то же, под крупными реками; е) — то же, под косами и отмелями; ж) — температурное поле таликов под реками; з) — водохранилище в первые годы создания; и) — мерзлотно-термическое строение р. Яны (п. Кулар); 1 — лед; 2 — деятельный слой; 3 — вода; 4 — талик; 5 — граница мерзлоты; 6 — мерзлотный экран; 7 — каналы перетекания; 8 — граница талика; 9 — мерзлота; 10 — скважины; 11 — линзы льда в мерзлоте

номичны, хотя рост водопотребления без решений очистки и обеззараживания природных и сточных вод создают угрозу загрязнения в первую очередь надмерзлотных вод.

Закономерности формирования таликов пока не установлены в мере, достаточной для надежной инженерной оценки при обосновании технологий и режима эксплуатации таликов [3, 21].

Минимальный (апрель – май) подрусловый расход следует принимать за расчетный (40...50 % первоначального); на этот же период необходимо определять фактический дебит водозаборов. Эти показатели существенно различны по природно-климатическим зонам и бассейнам рек.

Предложенные разными авторами зависимости для определения глубин протаивания мерзлоты в бортах и ложе источников при бурении скважин и геофизическими методами подтверждаются лишь частично (рис. 12.6 в). Под малыми и средними источниками мощность таликов находят наиболее близко к реальным данным, подтвержденным Ю.И. Вдовиным на практике, по формуле Г.А. Пчелкина [3, 22, 23]

$$x = \frac{\pi B t_n}{2\lambda_m \left(\frac{t_n}{\lambda_m} - \frac{t_r}{\lambda_r} \right)}, \quad (12.1)$$

где x – расстояние от оси водотока до нулевой изотермы по круговой поверхности радиусом $B/2$ м; B – ширина водотока, м; t_n – среднегодовая температура грунтов на дне, °С; t_m – среднегодовая температура грунта у поверхности земли под снежным и растительным покровом, °С; λ_m, λ_r – коэффициенты теплопроводности мерзлого и талого грунта.

Результаты расчета по этой формуле близки фактическим для источников шириной 30...50 м в межень. Границы протаивания грунтов под крупными реками и водоемами можно определять и по формуле С.В. Томирдиаро [26]

$$t(x; y) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_m} t_n - t_r \right) \left(\arctg \frac{\frac{B}{2} - x}{y} + \arctg \frac{\frac{B}{2} + x}{y} \right) + t_r + Gy, \quad (12.2)$$

где $t(x; y)$ – температура любой точки с координатами x, y , м, причем y – координата глубины; t_r – температура мерзлоты у подошвы слоя с годовыми амплитудами °С; G – геотермический градиент в данном районе (град/м).

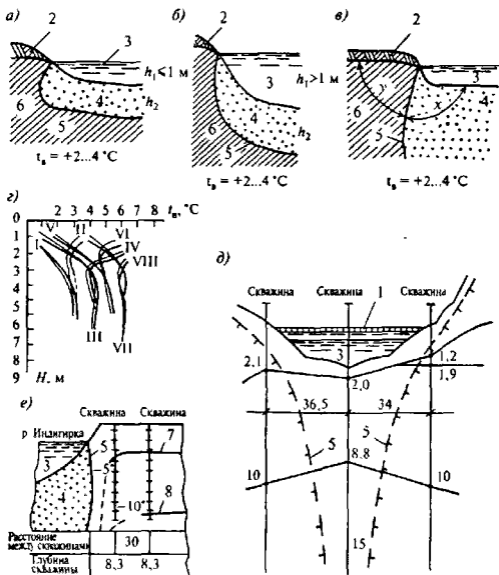


Рис. 12.6. Промораживание – протаивание грунтов под водоисточниками:

а) – при глубине до 1 м; б) – при глубине более 10 м; в) – определение протаивания в береговой зоне водоисточника; г) – изменения температуры донных отложений в озерах со сквозными таликами зимой и летом (I, II – оз. Таас-Кюель 19.IV и 17.VII; III и IV – оз. Чай-Кюель 15.IV и 1.VIII; V и VI – оз. Таас-Кюель (Черехов) 19.IV и 19.VII; VII и VIII – оз. Куоя 15.IV и 19.VII); д) – талики под горно-таежными реками; е) – распределение изотерм в грунтах левобережной поймы р. Индигирки; 1 – лед; 2 – деятельный слой; 3 – вода; 4 – талик; 5 – граница мерзлоты; 6 – мерзлота; 7 – изотерма грунтов – на 19.VIII.1953 г.; 8 – изотерма грунтов – на 19.V.1953 г.

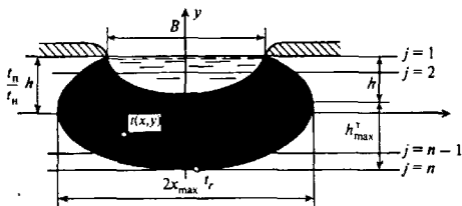


Рис. 12.7. Расчетная схема к определению параметров талика

Формулы (12.1) и (12.2) определяют лишь максимальную протайку под водоисточниками, не выражая динамики изменения границ таликов во времени, мощности талика и температурную динамику самого талика. Анализ большого фактического материала по режиму таликов в различных мерзлотно-гидрогеологических условиях позволил предложить более универсальные формулы, приняв за исходную расчетную схему (рис. 12.7). Максимальная протяженность границ, м, протаивания в пойме

$$x_{\max} = \frac{\pi B t_n}{2\lambda_m \left(\frac{t_n}{\lambda_m} - \frac{t_r}{\lambda_r} \right)}. \quad (12.3)$$

Температуру грунта в талике в любой точке с координатами x, y вычисляют по формуле

$$t(x,y) = \frac{1}{\pi} (t_n - t_r) \left(\operatorname{arctg} \frac{0,5B - x}{y} + \operatorname{arctg} \frac{0,5B + x}{y} \right). \quad (12.4)$$

В предположении симметричности талика в оба борта долины форма его очертания, очевидно, определится выражением

$$x = f(y). \quad (12.5)$$

При $0 \leq y \leq \frac{t_n}{t_n} h$

$$|x| = x_{\max} \left[1 - \frac{y}{(t_n/t_n)h} \right]^n + \frac{B}{2} \frac{y}{(t_n/t_n)h}, \quad (12.6)$$

где $n = 0,5 \dots 0,6$ – показатель степени.

При $-\left[h_{\max}^T - \left(\frac{t_n}{t_n} - 1 \right) h \right] \leq y \leq 0$

$$|x| = x_{\max} \left[1 + \frac{y}{h_{\max}^T - (t_n/t_n - 1)h} \right]^m, \quad (12.7)$$

где h_{\max}^T – максимальная глубина протаивания под подошвой источника при условии: $f(x; y) = t_n$;

$$h_{\max}^T = y; x = 0. \quad (12.8)$$

$m = 0,6 \dots 0,65$ – показатель степени.

Расчеты по формулам (12.3)...(12.8) показали высокую степень сходимости с фактическими гидротермическими ис-

Таблица 12.3

Водозапасы подрусловых таликов
в критический период (апрель) в бассейне р. Индигирки

Название реки	Длина реки, км	Суммарная длина таликов, км	Суммарные статистические запасы воды, тыс. м ³
Тихон-Юрях	105	45	14770
Нучча	50	7,65	473
Еченка	47	40,5	40130
Хатыннах	20	20	4500
Малый Куобах-Бага	24	7	3080
Большой Куобах-Бага	55	47	8330

следованиями Ю.И. Вдовина с соавторами под р. Лена в Якутске, под р. Яна (г. Северный) и др. Правильная оценка возможности использования подземных и таликовых вод, даже при необходимости регулирования запасов последних, позволяет получить воду без создания водохранилищ. Для коммунального водоснабжения наиболее нужны технологии забора и очистки подруслых вод. Статические запасы их в конце зимы значительны. Так, в бассейне р. Индигирки талики даже малых рек дают воды до 1000 м³/сут (табл. 12.3).

12.3. Совершенствование технологий водоприема и водообработки на Севере

Совершенствование технологий водоприема и водообработки на Севере затруднено из-за отсутствия и скудости рекомендаций по учету и оценке стока, режиму водоисточников и условиям их использования [30, 31]. СНиП 2.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик [5] не отражает сущности особенностей гидрологического режима рек зоны мерзлоты, не учитывает многих важных для практики приема и очистки воды факторов, в частности перемерзания, динамики зимнего режима и др. А именно эти факторы диктуют выбор технологий водоприема и водоочистки, конструкций водозаборно-очистных сооружений, влияют на их работу и экономичность систем водоснабжения в целом (обработка, подогрев, хранение, подача воды) [22, 24]. На Северо-Востоке РФ источниками водоснабжения служат (%): крупные реки – 27; озера – 6; водохранилища, пруды, копани – 21; подруслые воды таликов – 39; подозерные талики – 4; подмерзлотные воды – 3. На обозримую перспективу поверхностные источники, в основном реки и особенно их подруслые воды, будут базой водоснабжения крупных объектов промышленности и населения Севера. Озера, водохранилища, водоемы-копани, в некоторых случаях запасы снега и льда в разной мере создают водообеспечение. По технологии водоприема и водоочистки Ю.И. Вдовин подразделяет источники Севера на 4 класса:

I класс. Крупные реки, сохраняющие на всем протяжении всегда значительный, по сравнению с забираемым, подледный и подрусловый потоки и достаточные глубины зимой. Сюда относятся и озера с достаточными запасами воды на бессточный период с глубинами подо льдом 5...7 м. Технологию отбора воды из таких источников и ее очистку решают с использованием различных водозаборно-очистных сооружений без дополнительных мер (реки Лена, Енисей, Яна и др.).

II класс. Средние неперемежающиеся реки, сохраняющие подледный поток в течение всей зимы, но перемерзающие в отдельные годы на некоторых участках (реки Вилюй, Индигирка, Колыма и др.). Ко II классу относятся озера и водосмы, водозапасы и глубины которых достаточны на весь бессточный период. Технологии приема и очистки воды из источников этого класса решают фильтрующими, инфильтрационными или комбинированными водоприемниками при некоторых (иногда — сезонных) дополнительных мероприятиях повышения надежности и бесперебойности водоотбора.

III класс. Малые и средние, перемерзающие на отдельных участках или на всей протяженности водотоки с постоянными круглогодичными таликами. Здесь предпочтительны технологии водоприема с фильтрующими подрусловыми или комбинированными водозаборами при существенных мероприятиях по регулированию и восполнению запасов подрусловых вод. Перемерзающие к концу зимы водоемы (озера) можно использовать как льдохранилища; воду из них получают расплавлением льда на месте или с вывозом на тепловые пункты [22, 25, 26].

IV класс. Малые реки, перемерзающие вместе с подстилающим их аллювием. Водозабор из них даже для сезонных водопотребителей возможен при регулировании стока, глубин, термического режима и др.

Приведенная классификация принята в нормативных документах [5, 27, 28] и используется при проектировании, строительстве и эксплуатации систем водоснабжения в Северной строительной-климатической зоне.

Окончательно источник водоснабжения следует выбирать на основе оценки комплекса факторов, определяющих технологии забора, очистки и подачи воды. Забор воды из поверх-

ностных источников — озер (с подпиткой их из рек), рек I, II и даже III классов, как правило, экономичнее приплотинных водохранилищ на перемерзающих водотоках. Подача воды на значительные расстояния от мест относительно благоприятного водоприема экономичнее и экологичнее специально создаваемых приплотинных водохранилищ [25, 29]. Несмотря на отдельные просчеты, имеющийся опыт водоприема и водоочистки на Севере свидетельствует о возможности создания технически реальных и экономически приемлемых технологий приема и очистки воды и водозаборно-очистных сооружений в любых мерзлотно-климатических условиях.

До 70...80 % поселений Севера имеют по 1,5...5 тыс. жителей, сосредоточивая 60 % всего населения. Стоимость водоснабжения и водоотведения здесь достигает 20...25 % затрат на жилищно-гражданское строительство и до 12...15 % — на промышленное. Расходы на их эксплуатацию доходят до 40 % в городах и поселках. Созданы своеобразные технологии забора и очистки воды и сооружения, не встречающиеся более нигде, кроме зоны вечной мерзлоты. При водоснабжении на Севере задача состоит, с одной стороны, в улучшении на основе достижений современной техники применяющихся здесь апробированных на практике приемов и сооружений, а с другой — в совершенствовании существующих и разработке принципиально новых технологий. Последнее открывает перспективы более значительные, чем модернизация существующих традиционных способов водоснабжения. При этом ограничена или исключена возможность типизации решений. Известные конструкции и устройства водозаборов претерпели изменения применительно к специфическим северным условиям, превращаясь в водозаборно-очистные сооружения.

Удельные затраты на создание систем водоснабжения на Севере в 5–7 раз выше среднероссийских. Наиболее дорого водоснабжение предприятий и поселений в Заполярье, Арктике и Субарктике. Табл. 12.4 дает ориентировочные сведения о состоянии водоснабжения ряда районов Севера. Многие поселки и предприятия решают проблему водоснабжения автотранспортом. Содержание каждой автоводовозки обходится от 7...12 (Якутск) до 15...20 тыс. р. и более (поселки Тикси, Уэллен и др.). Стоимость 1 м³ воды составляет 5...15 р. и более.

Технико-экономические показатели систем водоснабжения Севера¹

Водо- потребитель	Водоот- ребление, тыс. м ³ /сут	Водосточник	Водозабор	Система водоснабжения	Обеспеченность жилого фонда централизованным водоснабжением, %	Стои- мость 1 м ³ воды, руб.
Якутск	До 70	Подрусловые воды р. Лены	Инфильтрационно- фильтрующий подрусловый	Централизо- ванная	60	0,5
Пос. Усть-Нера (Якутия)	До 50	Подрусловые воды р. Индигирки	Фильтрующая галерея подрусловая	То же	40	0,83
р. Кулар (Якутия)	1,5...2	Р. Яна	Временный на понтоне — летом; со льда — зимой	Подвоз автотранспортом 28 км	Менее 10	До 6
Певек (Чукотка)	8,5 (перспек- тива) 2,5...3	Чукотское море Озера термокарстовые	Опреснение Проруби — зимой; временный — летом	Опреснительная станция (проект) Подвоз автотранспортом 20...25 км	30 (план) 10	12...13 3...4

Водо- потребитель	Водопо- требление, тыс. м ³ /сут	Водосточник	Водозабор	Система водоснабжения	Обеспеченность жилого фонда централизованным водоснабжением, %	Стои- мость 1 м ³ воды, руб.
Завод промстрой- материалов (Якутия)	4 (хозяй- ственно- бытовое) 6,5 (про- мышлен- ность)	Р. Лена	Оголовки с вихревой аванкамерой А.С. Образовского	Открытый водозабор Очистные сооружения Централизованная	80	0,63 0,28
Р. Тикси (Якутия)	3,2	Водоохранили- ще на перемер- зающем ручье	Фильтрующий в нижнем бьефе плотины	Водовод с тепловым спутником, 4 км; обеззараживание Централизованно- квартильная	38	3,2
пос. Маган (Якутия)	1,8	Подозерный талик	Скважины	Скважина, резервуар; хлорирование. Подвоз автотранспортом 1,5 км	12	1,52
Сельско- хозяйственные поселки Лено- Амгинского меж- луречья (Якутия)	0,3...1,2	Озерный лед	Временный	Подвоз льда зимой; хранение льда в льдохранилищах летом	-	9...12

Продолжение таблицы 12.4

Водо- потребитель	Водопо- ребление, тыс. м ³ /сут	Водосточник	Водозабор	Система водоснабжения	Обеспеченность жилого фонда централизованном водоснабжением, %	Стои- мость 1 м ³ воды, руб.
Сытыкан, ГОК и жилой поселок (Якутия)	7,5	Водохрани- лище на р. Сытыкан	Фильтрующий типа «фильтрующий откос»	Централизованная	90	4,62
г. Тура (Эвенкия)	17,3	у. Н. Тунгуска	Фильтрующий типа «фильтрующая траншея»	То же	70	4,71
Буркундья, прииск с сезон- ным циклом и жилой поселок (Магаданская обл.)	3,2	Руч. Б. Буркун	Фильтрующий	То же	65	7,26
г. Усинск (Республика Коми)	40	Водохранили- ще на р. Усе	Оголовки с открытым водоприемом	То же	90	6,12
п. Ямбург (Тюменская обл.)	27	Аллювиальные воды Обской губы (р. Обь)	Подрусловая инфильтрационная галерея	То же	82	5,9
п. ГЭС Тулома-5 (Мурманская обл.)	33	Водохранилище на р. Тулома (верхний бьеф)	Береговой фильтрующий колодез	То же	100	5,28

В большинстве случаев воду населению подают без обработки, что повышает роль создаваемых водозаборно-очистных сооружений. Для крупных водопотребителей ($Q_{\text{вх}} \geq 1...25 \text{ м}^3/\text{с}$) воду отбирают из крупных рек, водохранилищ и морей открытыми или фильтрующими оголовками, ряжевыми стенками. При $Q_{\text{вх}} \leq 5 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ распространен фильтрующий или инфильтрационно-фильтрующий водоприем. При отборе $Q_{\text{вх}} \leq 1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ целесообразны инфильтрационные или комбинированные водоприемники с осуществлением при необходимости сезонных или капитальных мероприятий регулирования качества воды и условий водоприема (инфильтрационно-обводнительные сооружения, ИППВ, управление гидротермикой и водозапасами таликов и др.).

12.4. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации водозаборно-очистных сооружений

Задача совершенствования технологий водоприема и водообработки на Севере осложняется многообразием природно-климатических, мерзлотно-гидрологических условий, большим диапазоном отбираемых расходов (от 1...5 тыс. до 2...5 млн $\text{м}^3/\text{сут}$). Выбор схемы водозаборно-очистных узлов, их компоновки, конструкций водоприемников, технологий водоприема и водообработки в зоне мерзлоты определяется необходимостью приспособления известных технологий, типов и конструкций водозаборов к конкретным водоисточникам, с учетом особенностей строительства водозаборов.

На рис. 12.8 приведены примеры водозаборных сооружений на реках Севера. Затруднения от действия шугольда, обильной засоренности, мерзлотно-гидрологических процессов и другого испытывают практически все водоприемники с открытым водоотбором. Водоприемно-очистные устройства с развитым фронтом водоприема на уровне или ниже дна водотоков, водозаборы с фильтрующей

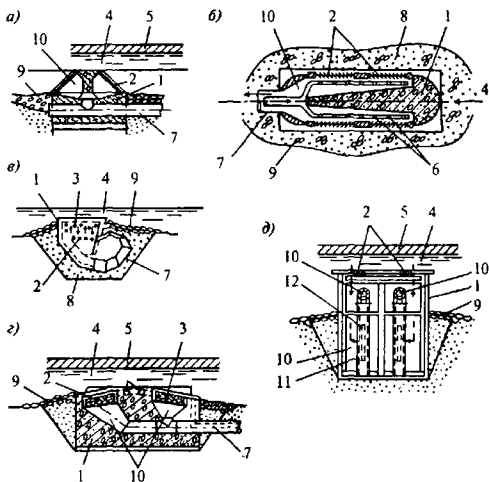


Рис. 12.8. Примеры водоприемников на реках Севера:

а) – р. Колыма; б) – конструкции А.С.Образовского (р. Лена);
 в) – оголовок с вихревой камерой; г) – р. Лена; д) – р. Олекма;
 1 – корпус; 2 – решетка; 3 – фильтр; 4 – река; 5 – лед; 6 – сброс
 горячей воды; 7 – самотечная линия; 8 – подготовка; 9 – отмоска;
 10 – аванкамера; 11 – паропровод; 12 – артезианский насос

обсыпкой (дамбы, оголовки, галереи или траншеи, фильтрующие откосы и др.) достаточно надежны. На рис. 12.9 показаны некоторые надежно работающие водоприемники-водоочистители; разнообразие применяющихся устройств и условий водоприема не позволяет провести строгий технико-экономический анализ этих решений.

Опыт приема и очистки воды, исследования и эксплуатация водоприемников-водоочистителей выявили наиболее надежные и соответствующие водоисточникам зо-

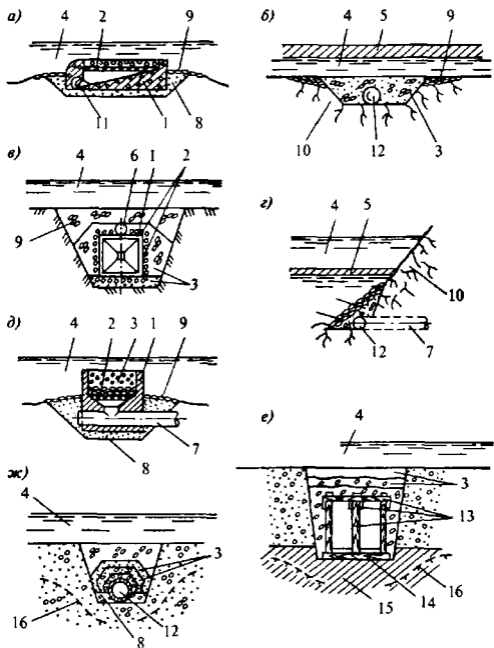


Рис. 12.9. Примеры надежно работающих водоприемников:

а) — фильтрующий оголовок с трубчатой вихревой камерой; б) — фильтрующая дрена (р. Яна); в) — то же. (р. Лена); г) — береговая фильтрующая дрена. д) — бункерный фильтрующий оголовок; е) — подрусовая галерея; ж) — дрена; 1 — корпус; 2 — решетка; 3 — фильтр; 4 — река; 5 — лед; 6 — сброс горячей воды; 7 — самоочистная; 8 — подготовка; 9 — отмоска; 10 — скала; 11 — аванкамера; 12 — дрена; 13 — конструкции галерей; 14 — подкладка; 15 — коренные породы; 16 — граница мерзлоты

ны мерзлоты водозаборы с фильтрующими элементами, т.е. технологичн водоприема с фильтрующими водоочистными элементами. Инфильтрационные водоприемники не предусматривают восстановления пропускной способности фильтрующих элементов при эксплуатации. Фильтрующие водоприемники позволяют восстанавливать фильтры при засорении или забивке шугой. Характерно, что собственно инфильтрационных водозаборов в классическом понимании немного (из обследованных 136 всего 11); подрусовые водоприемники выполняют по типу инфильтрационно-фильтрующих или комбинированных, ориентированных на периодическое восстановление пропускной способности специально подобранных фильтрующе-очистных элементов [22, 30, 31].

Фильтрующие, инфильтрационно-фильтрующие и комбинированные водозаборы составляют к настоящему времени до 60 % всех водоприемников. Общее для них — фильтрующая обсыпка (щебень, галька, гравий и т.п.), ориентированная на: совместный отбор как поверхностных, так и подрусовых (аллювиальных) вод с учетом перемерзания (пересыхания) поверхностных; фильтрующий водоотбор (инфильтрационно-фильтрующий, комбинированный) с очисткой отбираемой воды в слое фильтрующего материала. Применяют и береговые модификации водозаборов (рис. 12.9 *г*). Особое место в технологиях водоприема на Севере занимают фильтрующие плотины на перемерзающих реках и подрусовые фильтрующие лучевые водоприемники (рис. 12.9 *в, е*). Выбор мест расположения должен учитывать воздействие мерзлотно-гидрологических процессов (термоэрозия берегов и солифлюкция, наледи и др.). Из опыта Аляски и Канады представляют интерес устройства фильтрующих и комбинированных водозаборов с вертикальными шахтами (скважинами), связанными с водосборными (водоотводящими) элементами — дренами, позволяющими промывать фильтры водоприемников, подпитывать подрусовые водовмещающие массивы, в том числе и с подачей горячей воды (пара) в пласт.

Ввиду сложности очистки воды на Севере технологии водоприема должны обеспечивать максимальное улуч-

шение качества воды непосредственно при водоотборе, что наиболее просто и радикально решается при фильтрующем водоприеме [22, 32]. Водозаборно-очистные сооружения на Севере производят очистку питьевой и технической воды, обеспечивая эффективность функционирования систем водообеспечения объектов [33...36]. Задачу совершенствования технологий водоприема и водоочистки решали, исходя из условия максимального упрощения эксплуатации систем водоснабжения в целом, особенно в части забора, очистки и подогрева забираемой из источников воды, учитывая степень сложности получения воды в требуемых объемах и нужного качества в любые сезоны.

Эффективность технологий приема и очистки воды на Севере определяется качеством проектирования, достоверностью мерзлотно-гидрогеологических исследований, уровнем соответствия принятых сооружений местным условиям источников, особенностями их строительства и эксплуатации. Следует учитывать не только единовременные капитальные вложения, но и ежегодные строительно-эксплуатационные расходы на материалы, реагенты, полуфабрикаты и т.д. Из-за больших пределов проявления мерзлотно-климатического фактора в разных районах Севера пока нет четких критериев этого фактора. Лишь квалификация проектировщиков, их знание проблем водоснабжения и северного строительства являются мерилем степени соответствия проектных решений фактическим условиям [34, 37]. Технологии водоприема должны обеспечивать максимальное улучшение качества отбираемой воды, так как сложны и дороги реагентные способы очистки воды, обеспечение требуемого термического режима обрабатываемой воды и др. [22, 38].

Зарубежная практика усложнения конструкций не всегда оправданна [39, 40]. Широкое использование местных строительных материалов, учет особенностей сурового климата (холода земной коры, естественного холода и пр.) в строительстве и эксплуатации водозаборов [41] помогает решать данную проблему. Переоценка, а также недооценка влияния особенностей Севера, вредна

шение качества воды непосредственно при водоотборе, что наиболее просто и радикально решается при фильтрующем водоприеме [22, 32]. Водозаборно-очистные сооружения на Севере производят очистку питьевой и технической воды, обеспечивая эффективность функционирования систем водообеспечения объектов [33...36]. Задачу совершенствования технологий водоприема и водоочистки решали, исходя из условия максимального упрощения эксплуатации систем водоснабжения в целом, особенно в части забора, очистки и подогрева забираемой из источников воды, учитывая степень сложности получения воды в требуемых объемах и нужного качества в любые сезоны.

Эффективность технологий приема и очистки воды на Севере определяется качеством проектирования, достоверностью мерзлотно-гидрогеологических исследований, уровнем соответствия принятых сооружений местным условиям источников, особенностями их строительства и эксплуатации. Следует учитывать не только единовременные капитальные вложения, но и ежегодные строительные-эксплуатационные расходы на материалы, реагенты, полуфабрикаты и т.д. Из-за больших пределов проявления мерзлотно-климатического фактора в разных районах Севера пока нет четких критериев этого фактора. Лишь квалификация проектировщиков, их знание проблем водоснабжения и северного строительства являются мерилем степени соответствия проектных решений фактическим условиям [34, 37]. Технологии водоприема должны обеспечивать максимальное улучшение качества отбираемой воды, так как сложны и дороги реагентные способы очистки воды, обеспечение требуемого термического режима обрабатываемой воды и др. [22, 38].

Зарубежная практика усложнения конструкций не всегда оправданна [39, 40]. Широкое использование местных строительных материалов, учет особенностей сурового климата (холода земной коры, естественного холода и пр.) в строительстве и эксплуатации водозаборов [41] помогает решать данную проблему. Переоценка, а также недооценка влияния особенностей Севера, вредна

и недопустима. Необходим учет реальной, постоянно существующей угрозы перемерзания любых элементов водозабора, очистных сооружений и водоисточника, которые большую часть года находятся в среде низких отрицательных температур; нужны определенные меры по покрытию тепловых потерь сооружениями соответственно условиям теплового баланса забираемой и очищаемой воды от водоисточника до потребителя [31]. Улучшение термического режима водозабора и его акватории — одно из главных условий эффективности создания систем водоснабжения. Это достигается обводнением водоносных толщ аллювия, ИППВ за счет поверхностных и др.

Следует учитывать часто определяющее условие — возможность получения нужных расходов воды методами и средствами, доступными потребителю. Возросший уровень знаний о режиме водоисточников Севера помогает преодолеть неблагоприятные мерзлотно-климатические факторы в пределах заданной приемлемой технико-экономической и эксплуатационно-технологической целесообразности затрат и требований экологии. Водоснабжение желательно базировать на источниках, требующих минимума затрат на забор и очистку воды и специальных мероприятий по теплозащите. Если источник не пригоден к использованию в естественном режиме, то необходимы регулирование его стока, подпитка из ближайших источников, углубление озер, магазинирование воды в подрусовых таликах и другое, зависящее в каждом конкретном случае от особенностей и прогноза ожидаемых изменений мерзлотно-гидрологических и гидрогеологических условий. Водохранилища на перемерзающих реках — вынужденное, часто единственное решение, не всегда результативное из-за малой надежности плотин. Выгоднее, но сложнее организовать водоснабжение без дорогостоящих приплотинных водохранилищ, выполнив мероприятия по предотвращению перемерзания рек. Развитие гидромеханизации и ледотехники открывает реальные перспективы совершенствования технологий водоотбора из малых рек и многорукавных меандрирующих водотоков, создания водоемов-копаней и пр.

В маловодных районах используют искусственно накапливаемые запасы снега, подземные и наледные льды и др. В Якутии и Магаданской обл. многие поселения обеспечиваются водой из прудов-копаней на 300...800 тыс. м³ глубиной 6...8 м. Летом копани наполняют из рек или ручьев, перемерзающих зимой. Водохранилища-копани (в поймах рек, озерных впадинах, перекрытых старицах и др.) дешевле и надежнее напорных водохранилищ, поскольку им не угрожает фильтрация в обход плотин. Практикуются и наливные водоемы. Стоимость 1 м³ емкости копани такова, что окупается за 2...3 года, обеспечивая надежное водоснабжение. С позиций технологий водоприема и водоочистки более предпочтительны прирусловые (пойменные) водоемы-копани, работающие в режиме инфильтрационных бассейнов, дренируя воду из основного источника, а отсутствие транзитных течений исключает заиливание.

12.5. Существующие водозаборно-очистные сооружения в зоне мерзлоты

Свыше 400 крупных городов и промышленных объектов Якутии, Коми, Магаданской, Камчатской, Тюменской, Мурманской областей и Красноярского края [25, 31] не имели надежно работающих водозаборов и достаточной очистки воды из поверхностных источников. Исследования показали необходимость дальнейшего изучения водоприемно-очистных узлов и сооружений для выявления принципов их конструирования на вечной мерзлоте, хотя на сегодня уже наметился переход к технологиям фильтрующего водоотбора. Водоприемник, показанный на рис. 12.9 б, распространен при водозаборе из рек с достаточно устойчивым руслом. Решение, представленное на рис. 12.9 в (р. Лена, Ленск), разработано для отбора $Q_{\text{вх}} \geq 2 \text{ м}^3/\text{с}$ с улучшением качества отбираемой воды (1968 г., проект В.К. Мауля). Водоприемники, аналогичные приведенным на рис. 12.9 е, ж, применяют на Саха-

лине, в Магаданской и Иркутской областях, Якутии и др. (с 1938 г.). Последние типы водоприемно-очистных сооружений не рассчитаны на промывку фильтров дрен.

Наиболее важной и существенной тенденцией совершенствования технологий водоотбора и водоочистки в северных регионах является введение в качестве неотъемлемого элемента водоприемников фильтрующих слоев в виде обсыпок, защитных стенок, ряжей, фильтрующих откосов, дамб, траншей, лотков и другого как мер защиты от шуголедовых помех, засорений, средств рыбозащиты. Введение фильтрующих элементов водозаборов, доступных и достаточно эффективных для улучшения качества отбираемой воды, издавна оценено при водоснабжении и практикуется с конца XIX в. (Красноярск, Усолье-Сибирское и др.) до настоящего времени.

Важная тенденция развития водозаборов на Севере — стремление уйти от неблагоприятных факторов в поверхностных источниках под защиту фильтрующих слоев (искусственных или естественных, различной мощности, крупности, материалов) под уровень дна. Это позволяет наиболее полно осуществлять водоотбор из малых и перемерзающих рек, обеспечивая забор и очистку как поверхностного, так и подруслового стока различными модификациями водоприема (фильтрующими, инфильтрационно-фильтрующими, комбинированными).

Большинство подрусловых и береговых фильтрующих водоприемников предусматривает периодическое восстановление проницаемости фильтров (механическим снятием закольматированного слоя земснарядами [22, 42], гидравлическим декольматированием, промывкой водой и водовоздушной смесью [31, 43], созданием увеличенных скоростей и вихревых течений [42, 44, 45]). Комбинированные и инфильтрационно-фильтрующие сооружения забирают и очищают воду средних и малых зимой перемерзающих рек. Общим для них является прием воды летом из поверхностных или подрусловых потоков при перемерзании поверхностных, для чего развивают большой водоприемный фронт галерей и дрен; последние работают в режиме медленных фильтров [46]. Остаточная кольмата-

ция фильтров накапливается даже при малых v_{ϕ} и устранить ее при обширном водоприемном фронте известными техническими средствами сложно, целесообразен отказ от промывки фильтрующих слоев при достаточном развитии площади водоотбора

12.6. Особенности фильтрующего водоприема в районах распространения вечномерзлых грунтов

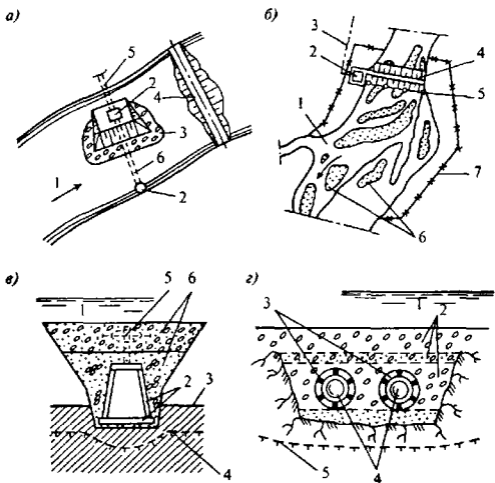
Технологии водоприема, основанные на использовании водоприемников с фильтрующими элементами разных конструкций, обеспечивают защиту водозаборно-очистных узлов от всех проявлений режима источников: шуголеда, водорослей, мусора, наносов, а также рыбозащиту и др. Сороудерживающие, рыбозаградительные устройства на водозаборах не предусматривают; береговые водоприемные шахты (колодцы) не оборудуют водоочистными сетками, как того требуют водозаборы других типов [46]. Из-за малых глубин и перемерзания рек зимой, резких перепадов уровней в источниках (р. Лена — до 14 м; р. Адыча — до 12 м), мощных шуголедовых проявлений, толщине льда до 2...3 м и другого водоприемники с фильтрами в виде кассет, сменяемых панелей и т.п. редки. Сооружения, сложные в эксплуатации зимой, на Севере не применяются.

Режимы рек оправдывают конструкции водоприемников с минимальным возвышением над дном и береговой линией под слоем искусственно созданных или естественных фильтров различной мощности. Это упрощает задачу управления структурой потока [28, 42] и наносами при водоотборе [44]. Существенно изменяется гидравлика деления потока при водоотборе, поскольку прием воды идет по наиболее выгодному гидроэнергетическому варианту — сверху вниз [22, 30]. Отпадает угроза переформирования русла и переотложения русловых образований в акватории водоприемника с подмывом или его заносом при ухудшении качества воды. Преимуществом водоприемни-

ков с фильтрами является то, что при их размещении на уровне или ниже дна (береговой линии) отсутствует проблема обтекаемости, весьма острая для русловых и береговых сооружений [47]. Для надежной работы водоприемников с фильтрами, особенно на малых и средних водотоках, в критический период следует предусматривать их обогрев, защиту от перемерзания. При уменьшении водотока и, следовательно, снижении тепляющего действия перемерзающих рек и водоотводящих устройств на мерзлоту в ложе и бортах речных долин в зависимости от характера водоисточников и сопряжения мерзлоты с таликами возможны различные методы защиты от перемерзания [22].

Инфильтрационно-фильтрующие водоприемники, совмещая в одном сооружении отбор поверхностных и подрусовых вод даже при перемерзании поверхностного (подледного) потока, обеспечивают высокую степень защиты водозабора от всевозможных помех и улучшают качество воды. Кроме ряда известных инфильтрационно-фильтрующих водоприемников Северо-Востока [20, 34] существуют примеры сооружений, внедренных в практику специалистами «Дальстройпроекта», «Якутнипроалмаза», ВНИИ ВОДГЕО и др. [4, 48] с отказом от строительства плотин, переброски стока, очистных сооружений и др.

Инфильтрационно-фильтрующие водозаборно-очистные сооружения наиболее экономичны из всех возможных при заборе воды малых и перемерзающих рек, особенно для водопотребителей до 5...10 тыс. м³/сут. На рис. 12.10 приведены примеры забора и очистки воды из малых рек, сохраняющих зимой талики, из перемерзающих рек с регулированием подрусового стока и при совместном регулировании поверхностного и подрусового стока. Эта технология забора и очистки воды наиболее перспективна для значительной части Севера. Водохранилища сезонного регулирования малых рек аккумулируют поверхностный сток, обводняя подрусовые водовмещающие отложения. Заслуживает внимания опыт обводнения водовмещающего талика фильтрующей дамбой (рис. 12.10 а) и глухой плотиной на напор до 8,5 м с противофильтрационным ядром, прорезающим подрусовые отложения



12.10 Инфильтрационно-фильтрующие водоприемники из перемерзающих рек с регулированием подрусовых вод:

а) – фильтрующей плотиной 1 – ручей; 2 – водоприемный колодец; 3 – фильтр; 4 – фильтрующая дамба; 5 – самотечные-всасывающие трубы; 6 – дрена; б) – глухой плотиной: 1 – река; 2 – водозаборно-насосная; 3 – водоводы; 4 – глухая плотина; 5 – водосборная дрена; 6 – острова; 7 – ограда; в) – галерея. 1 – источник; 2 – элементы деревянных галерей; 3 – грунт; 4 – граница мерзлоты; 5 – экран; 6 – фильтр; г) – фильтрующая граница: 1 – источник; 2 – фильтр; 3 – дрена; 4 – паропровод; 5 – граница мерзлоты

(7 м) до коренных пород – водоупора (рис. 12.10 б). В первом случае забирают воду, профильтровавшуюся сквозь плотину (инфильтрационно-фильтрующий водоприем в нижнем бьефе плотины). Во втором случае воду отбирают дренами с обратным фильтром в фильтрующем верхнем откосе плотины.

Технологии водоприема и очистки воды на Севере для мелких водопотребителей (1,5...10 тыс м³/сут.) так же сложны, как и для больших объектов. В малых водонсточниках технические возможности забора воды наиболее трудны, а влияние помех максимально. Большинство водопотребителей не располагает ресурсами теплой отработанной воды, пара, электроэнергии, поэтому надежность отбора и очистки воды следует достигать конструкциями водоприемников, выбором мест расположения и др. Понятия совершенства водоприемных устройств, положения подошвы и кровли водоносного горизонта, мощности потока под руслом в зоне мерзлоты относительно и значительно меняются во времени. При совершенных водозаборах подъем границы мерзлоты ведет к частичному или полному их перемерзанию. Водозаборы (дрены, галереи) совершенного типа с расположением на водоупоре влекут оттаивание мерзлоты-водоупора и фильтрацию воды в обход. Если подрусловый поток и талики мощные, то обогрев их не нужен, так как он не влияет существенно на режим акватории водоприема. Бесплезно подводить тепло к водоприемнику, если угроза перемерзания акватории водозабора очевидна. Прогноз термодинамического состояния системы «водоприемник — подрусловый поток — мерзлота» пока невозможен; моделирование процессов тепло- и массообмена при водозаборе сложно, поэтому конструирование инфильтрационно-фильтрующих и комбинированных водозаборов ведут лишь на основе имеющихся представлений и опыта специалистов-проектировщиков.

Большую часть построенных подрусловых водозаборов на Севере следует рассматривать как инфильтрационно-фильтрующие. Собственно инфильтрационные водозаборы в зоне мерзлоты относительно редки, так как они создавались с нарушением естественного аллювия вокруг дрен (галерей). Забор воды осуществляют инфильтрацией ее через слой засыпки, свойства которой приближаются к свойствам аллювия естественного сложения. Подобные водозаборы устраивают под водоисточниками различной мощности, в том числе под крупными реками (рис. 12.11 а), в морских акваториях (рис. 12.11 б) и на перемерзающих реках с отбором воды, полностью осветляемой от взвеси. Помехи от шуги, засоре-

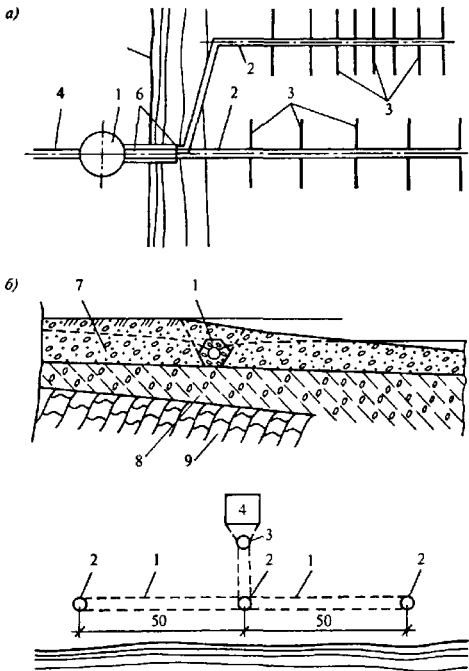


Рис. 12.11. Крупные инфильтрационные водозаборы:

а) – лучевой водозабор на реке: 1 – береговая шахта; 2 – самоочистные трубы; 3 – дрена; 4 – напорный водовод; 5 – берег; 6 – штормовая; б) – морской водозабор: 1 – дрена; 2 – колодцы; 3 – водосборный колодец; 4 – насосная станция, 5, 6 – максимальный и минимальный уровни; 7 – фильтрующие грунты; 8 – суглинок; 9 – скала

ний, наносов устраняют полностью. При $v_{\text{вх}} \leq 0,02$ м/с водоотбор не влияет на транспортировку наносов. При обеспечении $v_{\text{вх}}$ в 2—3 раза меньше (в идеале до 0,005 м/с) и $h_{\text{ф}} \geq 2$ м отпадает надобность последующей очистки воды.

Понятия комбинированного водоприема и комбинированных водоприемников, принятые в практике [46] на Севере, существенно различны. В литературе разные авторы комбинированный водоприем понимают по своему. А.С. Образовский [39] к этому типу водозаборов относит сооружения из двух водоприемников разного типа, которые работают, либо заменяя один другого (в одних и тех же условиях), либо независимо (в разные гидрологические фазы). А.Г. Аверкиев [53, 54] к комбинированным водозаборам относит взаимодополняющие сочетания фильтрующих и обычных оголовков. Фильтрующие секции работают в шутоходы; оголовки с открытым водоприемом более надежны при наносах, но легко забиваются шугой. Периоды шути и наносов не совпадают по времени, что позволяет маневрировать работой водозабора, но рекомендуемые И.И. Макаровым и А.Г. Аверкиевым комбинированные водозаборы требуют минимальных глубин в 3,5...4,5 м, что в большинстве источников Севера зимой трудно обеспечить.

Комбинированные водоприемники в виде фильтрующих дамб с дренами (коллекторами) в их толще в сочетании с секциями ряжевых фильтрующих оголовков, как правило, обеспечивают $v_{\text{вх}} \leq 0,05$ м/с. Комбинация из береговой и подрусовой дрен, подающих воду к одной водосборной шахте (см. рис. 12.9 в), работает надежно даже при перемерзании реки. Наши предложения по комбинированным водозаборам для Севера ориентированы на водоприем преимущественно сооружениями с фильтрующими элементами. Фильтрующий водоприем обеспечивает отбор воды при минимальных глубинах (0,3...0,2 м и до перемерзания) и расходах источников, мощных воздействиях ледоходов, шути, наносов и другого, что достигается развитием обширного водоприемного фронта, малыми $v_{\text{вх}}$ (0,02...0,005 м/с и ниже), возможностью совместного отбора воды из поверхностных источников, а при перемерзании их — из подрусовых водовмещающих отложений.

12.7. Технологии забора и очистки воды из перемерзающих рек

Малые и средние реки, перемерзающие на отдельных участках или по всей длине ежегодно или с определенной периодичностью, – самые распространенные и вероятные источники водоснабжения на Севере. Наиболее сложен водоотбор из рек, перемерзающих к концу зимы вместе с подстилающим аллювием, что требует соответствующих приемов регулирования стока и теплового режима подледного и подруслового потоков. В настоящее время выбор мест расположения, режима эксплуатации, гидротермических и гидрогеологических расчетов водоприемников пока решают в основном интуитивно, без четких инженерных и теоретических обоснований. Некоторый опыт водоприема из перемерзающих рек накоплен на Северо-Востоке и освещен в работах Н.А. Вельминой, А.И. Калабина и др. [22].

В каждом конкретном случае при выборе технологий водоприема и очистки воды из перемерзающих рек надо оценивать вопросы регулирования водозапасов, управления их режимом, улучшения гидротермических условий. При тепловых расчетах водозаборов из перемерзающих рек основным является условие сохранения в неперемерзающем состоянии объема воды, необходимого на бессточный период, с учетом потерь воды на льдообразование, фильтрацию, испарение. Создаются емкости (пруды-копани, сезонные водохранилища и пр.) с запасами воды на бессточный период:

$$Q_{б.п} = q_{сут} n_l k_n \alpha, \quad (12.9)$$

где $Q_{б.п}$ – объем водопотребления в бессточный период, м^3 ; $q_{сут}$ – среднесуточное водопотребление объекта, м^3 ; n – число дней бессточного периода; k_l – коэффициент, учитывающий потери воды на льдообразование, равный 1,25...1,5; k_n – коэффициент неравномерности водопотребления, рекомендуемый 1,5...2,2; α – коэффициент полноты использования водозапасов, равный при отсутствии притока 0,6...0,8. Значение его зависит и от совершенства водоприемника.

При заборе воды из малых и перемерзающих рек необходима защита водоприемных и водоотводных устройств от перемерзания и образования шуги в отводимой воде. В защите от перемерзания нуждаются не только водоприемники, но и водоисточники, особенно при отсутствии пополнения запасов воды и постоянном изъятии части водозапасов и, следовательно, тепловых ресурсов источника. Конструктивно водоприемно-очистные сооружения из перемерзающих рек, как правило, применяют в виде горизонтальных (береговых и подрусовых) дрен, галерей, рассечек и т.п. Для более полного использования водных ресурсов перемерзающего водотока и сокращения затрат на регулирование их в бессточный период целесообразны совершенные водосборные элементы в виде подрусовых дрен с водоприемными колодцами. Последние выполняют роль обводнительных устройств и утепления перемерзающих водотоков.

В Забайкалье, на Амурской и Амуро-Якутской магистралях фильтрующий водоприем в виде подрусовых галерей считался одним из наиболее целесообразных решений добычи и очистки воды. Н.С. Богданов рекомендовал для водоснабжения станций Зилово, Бушулей, Укурей (р. Куенга) забирать воду подрусовыми галереями с обсыпкой валунами и гравием до уровня дна. А.А. Сурин, Е.В. Степаненко [34] и Н.А. Чернышев забор воды в зоне мерзлоты рекомендуют осуществлять фильтрующими деревянными галереями с обсыпкой крупным камнем с увеличением водозапасов зимой устройством глухих или переливных водоподъемных плотин.

Подрусовые дрены (галереи) обеспечивали достаточную очистку отбираемой воды вследствие малых $v_{\text{вх}} \leq 0,03$ м/с. Площадь водоотбора, как правило, принималась с большим запасом. При больших сечениях галерей (до 2...3 м²) и малых $v_{\text{вх}}$ (до 0,005 и ниже) фильтрующие водоприемники неизбежно превращались в инфильтрационные из-за их кольматажа. При обследовании многих водозаборов специалисты не отмечали случаев прохождения через фильтры водоприемников засорений, водорослей, хвои, молоди рыб, шуги и т.п., что свидетельствует о высокой

надежности фильтрующего водоприема. Несмотря на большие затруднения при заборе поверхностных вод, необходимо ориентироваться в основном на поверхностные и подрусовые (надмерзлотные) водоисточники. Для этого целесообразен комбинированный водозабор, т.е. прием воды летом — из русла, зимой — из таликов простыми в изготовлении деревянными галереями с обратным фильтром в 2–3 слоя.

Примеры удачно решенных водозаборных сооружений по рекомендациям Ю.И. Вдовина на перемерзающих реках Якутии и Магаданской обл. приведены на рис. 12.12. Надежность водозабора повышена созданием прирусловых прудов-копаней, пополняемых летом самотеком или закачкой. Пруды-копани создают и в огражденных, углубленных старицах, пойменных озерах и пр. Создание таких водозаборов не требует дорогостоящих конструкций и материалов, обеспечивает очистку отбираемой воды (реализация разработок А.П. Тарасова, Г.Д. Мартыненко, В.К. Мауля).

При водоснабжении из перемерзающих рек требуются полный отбор меженного и перехват большей части летнего стока. Решения забора воды из малых перемерзающих рек с полным использованием годового стока без создания водохранилищ позволяют аккумулировать сток перемерзающих рек в водоемах-копанях. Воду отбирают через систему фильтрующих дамб, дрен и фильтров водозаборного устройства. Качество отбираемой воды при этом можно довести до нормативных требований. Такая технология водоприема перспективна для водоснабжения без приплотинных водохранилищ. Уменьшить потери воды на льдообразование можно созданием пористой ледовой подушки по поверхности ледового покрова льдонамораживающими агрегатами «Град», снегозадержанием и др. [22].

Технологии водоотбора из перемерзающих рек требуют иногда сложного комплекса регуляционно-обводнительных сооружений и устройств, обеспечивающих задержание (аккумуляцию) подрусовых вод; комбинированный водоотбор поверхностных и подрусовых вод; накопление поверхностных вод на период межени; увеличение глубин и обводнение подрусовых отложений; утепление русла и

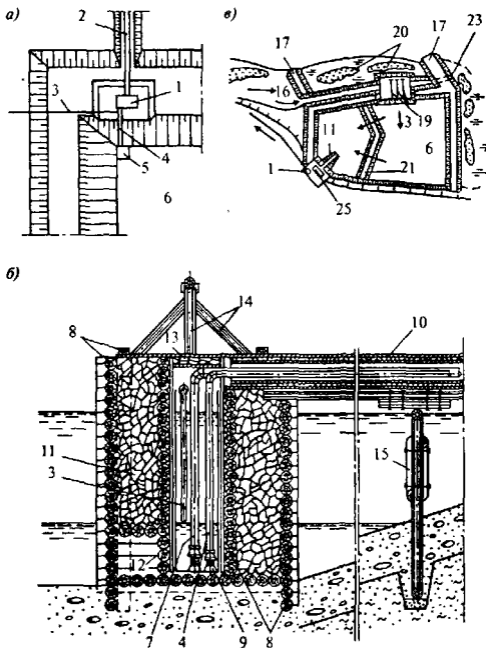


Рис. 12.12. Фильтрующий водозабор из пересмерзающих рек:

а) – водозабор в водоеме-копани; б) – фильтрующий водозабор; в) – общий вид водоема-копани; 1 – насосная станция, 2 – напорные водоводы; 3 – наполнение пруда; 4 – самотечные; 5 – водозабор; 6 – копань; 7 – всасывающий трубопровод; 8 – ряжи; 9 – приемный клапан; 10 – короб; 11 – фильтр; 12 – шибер; 13 – люк; 14 – ручная таль; 15 – стойка; 16 – река; 17 – дамбы; 18 – пойма; 19 – дрены; 20 – острова; 21 – фильтрующая дамба; 22 – фильтрующий канал; 23 – водосброс; 24 – насыпь

поймы и др. Поскольку на перемерзающих реках лед, как правило, стаивает на месте и ледоход как таковой отсутствует, можно использовать облегченные подпорные сооружения для аккумуляции меженного стока (резинотканевые и ледовые плотины с полимерными пленочными экранами, фильтрующие летом плотины, превращаемые зимой в нефилтрующие, и др.). Повышение надежности технологий водоприема из перемерзающих источников с сокращением затрат на очистку, подогрев и бесперебойную подачу воды делает оправданным проведение комплексных изысканий и исследований по оценке режима водоисточников и условий их использования.

В общем случае водозаборно-очистной узел в зоне мерзлоты для обеспечения требуемых эксплуатационно-технологических функций в системах водоснабжения должен включать:

- водоприемно-водосборные устройства и сооружения, в наибольшей мере соответствующие условиям водоприема в специфических проявлениях режима местных источников;
- мероприятия, обеспечивающие максимальное использование сохраняющегося к концу зимы поверхностного и подруслового стока; целесообразен водоприем с практически полным использованием годового объема стока путем создания водоемов-копаней;
- устройства и сооружения, регулирующие один или несколько параметров водоисточников: гидротермики, наносов, водозапаса и термического режима поверхностного или подруслового потока (или совместно), мерзлотно-гидрологические явления и процессы;
- тепловые пункты (котельные, бойлерные, паропродуцирующие установки и т.п.) — неотъемлемую часть любого водозаборного узла;
- устройства и элементы, обеспечивающие защиту от перемерзания водоприемных, водоотводящих и водосборных элементов.

Фильтрующие колодцы, галереи, дренаи, их комбинации, «рассечки» — траншеи (в скальных) или лотки (в аллювии) и другие работают как инфильтрационно-филт-

рующие. Малые $v_{\text{вх}}$, возможности регенерации фильтрующих элементов (промывка всего слоя фильтров, смыв верхних, закольматированных слоев, прочистка внутренних полостей водосборных и водоотводящих устройств от отложений, взаимосвязь поверхностных и подрусловых вод и др.) делают эти водоприемники надежными и высокоэффективными. Водоприемник – фильтрующая галерея с серией обводнительных фильтрующих колодцев – достаточно надежное решение для Севера [22, 60]. Подобные, но усовершенствованные конструкции фильтрующих обводнительных колодцев на галереях применены для забора воды из ряда рек Заполярья и Южной Якутии. Фильтрующая подрусловая галерея с обводнительными фильтрующими каналами применена нами для обводнения аллювия акватории водозабора в Оймяконском районе (Якутия). Для водоснабжения поселков в этом районе предложены инфильтрационно-фильтрующие водозаборы с обводнительными инфильтрационными бассейнами [22, 25].

В состав водозаборно-очистных сооружений входят иногда сложные сооружения (плотины, гидроузлы, регулирующие и защитные сооружения, циркуляционные насосные станции и др.) в зависимости от характера источника, сложности забора воды и принятой технологии водоотбора с оценкой предельно допустимого водоотбора и изменения качества воды. Предельный водоотбор из рек встречает ограничения технического, экономического и экологического характера, весьма жесткие в зоне мерзлоты, и особенно при отборе воды из средних и малых рек, испытывающих каждую зиму угрозу перемерзания. Максимально возможный водоотбор определяют наиболее целесообразными размерами водозаборного сооружения (при фильтрующем водоприеме – площадь водоприемного фронта).

При выборе типа, конструкции и компоновки водозаборных узлов, в том числе и с плотинами, следует руководствоваться технико-экономическими сравнениями вариантов. На Севере вариант, имеющий хорошие показатели по стоимости, не всегда приемлем по условиям надежности эксплуатации систем водоснабжения. Известны случаи, когда плотинные водозаборы с созданием приплотинных водохранилищ,

несмотря на сложные и дорогостоящие сооружения, особенно плотины с водосбросами, не всегда обеспечивали надежное водоснабжение и обводнение. Но возможно регулирование малых (персмерзающих) рек сезонными ледовыми плотинами (на период сентябрь – апрель).

Выбор мест расположения водозаборно-очистных сооружений в районах мерзлоты диктуется комплексом гидрологических, гидрогеологических и мерзлотных условий. Сооружения необходимо располагать по возможности там, где: река не промерзает и имеет минимальный расход, достаточный для отбора требуемого количества воды; водоприемные устройства можно расположить в пределах таликов без угрозы замерзания (при поднятии границы мерзлоты), разрушения (при протаивании и просадке мерзлоты и льда); не наблюдались наледн и нет предпосылок их появления; русло устойчиво и нет отхода от водозабора. При опасении промерзания реки и ухода ее в подрусовой поток следует ориентироваться на комбинированный водозабор. При водозаборе из крупных рек следует учитывать наличие в них наносов (3...4 мес в году) и сложности регулирования русла. Самое опасное – непрерывная мерзлотно-термическая переработка берегов до 15...20 м/год и более [4, 9, 22]. Прогноз мерзлотно-гидрологической (термоэрозионной) переработки берегов рек, водосмов, подводящих каналов необходимо выполнять как с позиций оценки выбранного створа водозабора, так и по условиям использования возможных приемов и средств берегозащиты (берегоукрепления). Профиль берегов (откосов) сильно изменяется летом, когда на грунты действуют оттайка мерзлого массива, термический и гидромеханический водный поток.

12.8. Улучшение качества отбираемой воды

Ввиду особой дороговизны и сложности очистки воды на Севере необходимы технологии водоприема, обеспечивающие улучшение качества ее на водозаборах. Низкая температура воды большую часть года резко изменяет и снижает технологические процессы обработки, рассчи-

таные на высокую температуру (8...10 °С). Увеличение вязкости, замедление химических и физико-химических реакций при низкой температуре воды соответственно замедляют отстаивание и фильтрацию воды в 3—4 раза, повышая дозы коагулянтов и значительно удорожая стоимость сооружений. Обеспечение необходимого эффекта осаждения, получаемого при 8...10 °С, требует увеличения габаритов сооружений на 30...40 % по сравнению с нормативными. Повышение доз коагулянтов и хлора ведет к их перерасходу, что особенно неэкономично при больших расстояниях от поставщиков и сложностях хранения.

Более широкое применение фильтрующих и инфильтрационных водозаборов обеспечивает получение достаточно чистой воды. Особую значимость приобретает возможность улучшения качества воды при водозаборе и непосредственно в источнике. Несмотря на очевидность и бесспорную эффективность последнего положения, требование максимальной очистки воды на водозаборах еще не стало обязательным в практике водоснабжения [80]. Степень очистки отбираемой воды зависит от качества ее в источнике и конструкции водозаборов, от состава и степени ее загрязненности (засоренности), от технологий водоотбора и др.

Давно признаны [22, 25, 33] возможность и эффективность улучшения качества воды (УКВ) при водоотборе в различных регионах. Ю.В. Якунин подтверждает выгодность фильтрующего водоприема как важнейшего направления технологии водоприема и очистки воды при водоснабжении Красноярска и других городов Восточной Сибири. В.В. Земляной, С.Ф. Соломенник и другие отмечают возможность очистки воды при инфильтрационном водоснабжении в Приморье и бассейне р. Амур. По исследованиям Ю.И. Вдовина, запроектированы, построены и с 1964 г. эксплуатируются инфильтрационно-фильтрующие водозаборы Якутска и Усолья-Сибирского (р. Лена), обеспечивающие очистку воды до требований ГОСТа (проект Н.Г. Хазикова) [61]. На Севере очистка воды на водозаборах — единственно реальная, технологически доступная возможность обеспечения требуемого качества и санитарно-бактери-

ологической безопасности питьевой воды. Прослеживается прогрессивная тенденция — благодаря совершенствованию технологий водоприема и водозаборов добиться в той или иной степени очистки воды при водоотборе.

При возрастающих антропогенных нагрузках на водисточники, удорожании энергии, материалов, реагентов, труда, сложностях утилизации и обработки осадков при традиционных технологиях очистки воды совмещение в одном сооружении водозабора и водоочистки оправданно и перспективно. Особенно важно это в Сибири, где очистка воды сложна, дорога и во многом не разработана [25, 62]. Долголетняя практика подтвердила возможность значительного упрощения водоочистки (вплоть до отказа от очистных сооружений). Воды большинства поверхностных источников Севера, если их качество не улучшать при водоотборе, подлежат очистке и обеззараживанию. Воды подрусловые и таликовые, как правило, нуждаются лишь в обеззараживании. Химический состав и минерализация последних весьма разнообразны, так как неодинаковы условия формирования таликов, состав водовмещающих пород, а также условия водообмена их с мерзлотой. Зимой минерализация воды возрастает; в ее составе преобладают хлориды и натрий; есть гидрокарбонатно-кальциевые соли. Общая минерализация подрусловых вод колеблется в больших пределах даже в одном бассейне [16]. Длительная зима, своеобразие режима водисточников, замедленность процессов самоочищения и другое удорожают строительство и усложняют эксплуатацию водоочистных сооружений.

Улучшение качества воды в традиционных сооружениях принципиально аналогично очистке ее в умеренном климате. При этом следует учитывать низкие температуры воды, так как скорость процессов и реакций в обрабатываемой воде, по правилу Аррениуса, меняется в 2 раза при изменении температуры воды на 10°C . Недоучет этого обстоятельства приводит к тому, что очистные сооружения не дают ожидаемого эффекта. Так, очистка маломутных, но высокоцветных вод при температуре ниже 5°C малоэффективна, так как скорость коагуляции низка, образующиеся хлопья мелки, не задерживаются отстаивниками и осветли-

телями. В холодной воде с плотностью, близкой к максимальной, разность плотностей образующихся хлопьев и воды минимальна, а вязкость максимальна [62]. Вязкость характеризует способность жидкости сохранять тепло, непосредственно показывая значение потерь тепла, что важно при обработке воды. С повышением температуры вязкость уменьшается, обработка воды улучшается. Наблюдается следующая зависимость вязкости воды от температуры:

$t, ^\circ\text{C}$	Вязкость, 10^{-3} Па·с
0	1,797
5	1,523
10	1,301
15	1,138
20	1,007
25	0,895
30	0,800
35	0,723

В то же время вязкость увеличивается с повышением содержания растворенных солей:

Солесодержание по иону Cl^- , г/л	Вязкость при 20°C , 10^{-3} Па·с
0	1,007
4	1,021
8	1,035
12	1,052
16	1,068
20	1,085

Неэкономичность добычи подмерзлотных и межмерзлотных вод и необходимость сложной их обработки повышают реальность водоснабжения большинства объектов за счет поверхностных. Трудности обработки их по традиционным технологиям требуют УКВ в источниках и соответствующих технологий водозабора. Водозаборный узел должен включать, кроме водоприемника, обеспечивающего улучшение качества отбираемых вод, мероприятия по УКВ созданием водоемов, отстойников, фильтрационных устройств, бассейнов и пр. Опыт водоснабжения на Севере показал возможность

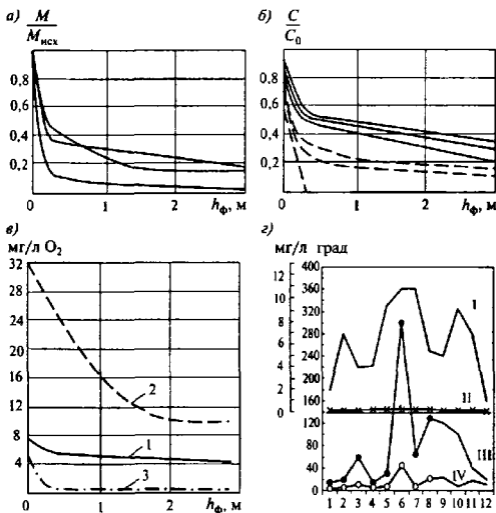


Рис. 12.13. Изменение показателей качества воды при фильтрующем водоприеме:

а) — изменение мутности по высоте загрузки (песок с $d_{30} = 0,85$ мм);
 б) — бактериальные изменения по высоте загрузки (сплошные линии — общий счет бактерий, пунктир — коли-индекс, песок с $d_{30} = 0,85$ мм); в) — изменение окисляемости и BPK5 по высоте загрузки; з) — изменение мутности (I—II) и цветности (III—IV) воды при инфильтрации (р. Лена); I — окисляемость по $KMnO_4$; 2 — то же, перманганатная; 3 — BPK5 (песок с $d_{30} = 0,25$ мм)

для большинства объектов улучшить качества отбираемой воды без очистных сооружений. Инфильтрационно-фильтрующие водозаборы, комбинированные водоприемники обеспечивают получение воды с показателями, значительно более высокими, чем в реке (рис. 12.13).

Эффективность работы водозаборно-очистных сооружений фильтрующего типа

Показатель	$d_{\phi} = 0,85$ мм				$d_{\phi} = 0,34$ мм				$d_{\phi} = 0,25$ мм							
	Исходная вода (р. Яна)		Фильтрат ($h = 3$ м)		Исходная вода (р. Себян)		Фильтрат ($h = 2,5$ м)		Исходная вода (р. Яна)		Фильтрат ($h = 3$ м)		Исходная вода (р. Яна с загрязненными стоками)		Фильтрат ($h = 3$ м)	
	МАКСИ-МУН	МИНИ-МУН	в начале цикла	в конце цикла	МАКСИ-МУН	МИНИ-МУН	в начале цикла	в конце цикла	МАКСИ-МУН	МИНИ-МУН	в начале цикла	в конце цикла	МАКСИ-МУН	МИНИ-МУН	в начале цикла	в конце цикла
Мутность, мг/л	40	6	3	0,28	10	5	2	0,15	40	7	1	0,4	50	7	0,7	0,15
	71	30	40	22	40	15	20	7	57	25	21	8	87	32	26	9
Окисляемость бихроматная, мг/л O_2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	48	24	24	8
	15,7	9,8	12,8	8,7	12	6,6	9,2	4,5	13,3	4,48	6,2	3,8	13,3	7,5	7,3	4,2

Показатель ¹	$d_{\text{ф}} = 0,85 \text{ мм}$				$d_{\text{ф}} = 0,34 \text{ мм}$				$d_{\text{ф}} = 0,25 \text{ мм}$							
	Исходная вода (р. Яна)		Фильтрат ($h = 3 \text{ м}$)		Исходная вода (р. Себан)		Фильтрат ($h = 2,5 \text{ м}$)		Исходная вода (р. Яна)		Фильтрат ($h = 3 \text{ м}$)		Исходная вода р. Яна с загрязнениями стоками		Фильтрат ($h = 3 \text{ м}$)	
	макс.-мун.	мин.-мун.	в начале цикла	в конце цикла	макс.-мун.	мин.-мун.	в начале цикла	в конце цикла	макс.-мун.	мин.-мун.	в начале цикла	в конце цикла	макс.-мун.	мин.-мун.	в начале цикла	в конце цикла
Растворенный кислород, мг/л O_2	9,4	6,6	3,35	1,8	9,3	7,5	4	0,4	8,12	5,32	1,67	0,93	7,7	4,33	2,7	0,68
БПК ₃ , мг/л	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,4	2,15	0,47	0,34
Щелочность, мг.экв./л	3,6	3,3	3,5	3,2	5,1	-	4,73	-	-	1,9	1,9	-	2,8	2,7	2,7	2,8
pH	7,6	7,3	7,3	7,3	7,6	7,3	7,5	7,2	7,4	7,2	7,2	7,1	7,65	7,25	7,4	6,95
Колн.-индекс	5000	80	20	0	10000	600	300	0	15000	220	1500	0	430000	200000	20000	600
Общее число бактерий в 1 мл	58	10	38	2	600	80	90	10	150	7	7	0	2730	65	34	0

¹ Анализы выполнены в лаборатории Верхоянской РайСЭС (пос. Батагай, Якутия) в 1979-84 гг.

Изменения качества воды при ее инфильтрации исследовались на ряде водозаборов Якутии, Магаданской и Амурской обл., в Красноярском крае. Лучшие показатели воды обеспечиваются на инфильтрационных водозаборах, при малых $v_{вх}$, мощности h_{ϕ} фильтра ≥ 2 м и крупности его $d_{\phi} = 0,25 \dots 1,2$ мм (табл. 12.5, усредненные данные). Технологию водоприема с фильтрацией и инфильтрацией воды на водозаборах следует рассматривать как совместную с водозабором работу очистных сооружений и учитывать при выборе схем водообеспечения. При этом важно определить характер изменения отдельных показателей воды при заборе ее сооружениями с фильтрующими элементами. Характер и степень изменений качественных показателей видны как из табл. 12.5, так и из рис. 12.13.

Видно, что при фильтрации с малыми скоростями значительно снижаются мутность, цветность, БПК₅, коли-индекс и общий счет бактерий. Уменьшается содержание растворенного кислорода и увеличивается количество свободной углекислоты. Жесткость, хлориды, щелочность существенно не изменяются.

На рис. 12.13 представлены кривые, характеризующие изменения отдельных показателей качества воды по высоте фильтрующего слоя на протяжении длительного времени, при этом в цикле фильтрования видны отдельные периоды (I, II, III) примерно равной продолжительности. Видно, что основные изменения происходят в верхнем слое фильтра 20...50 см. По остальной высоте они незначительны. При безреагентной очистке на медленных фильтрах эффект увеличивается во времени. Если в первый и второй периоды работы водозабора еще не достигалась полная очистка воды от бактерий, то уже в начале третьего периода вода не содержала бактериальных загрязнений (коли-индекс близок к нулю).

По мере фильтрации увеличивается эффект снижения мутности и других показателей. Здесь сказывается действие пленки, которая образуется на фильтрующей поверхности. Наибольшие изменения в качестве воды происходят в верхнем слое загрузки, что имеет большое значение при выборе типа фильтра водозаборов как сооружений

предварительной очистки. Для оценки качественных изменений имеет значение характер самих загрязнений. При фильтрации значительно снижаются органические загрязнения; при этом наиболее интенсивно верхний слой задерживает вещества, способные к биохимическому окислению. Уже на глубине 30...40 см БПК₅ практически достигает минимального значения.

Полученные сведения по очистке воды на водозаборах Севера в основном близки результатам исследований на водозаборах Риги, Красноярска, Тынды, Усолья—Сибирского и др. [25, 62]. Стремление улучшить качество воды прослеживается и при водоснабжении из водоемов и морей на фильтрующих или инфильтрационно-фильтрующих водозаборах. Это свидетельствует о перспективности фильтрующего и инфильтрационно-фильтрующего водоприема как наиболее рационального решения водочистки для крупных объектов [61, 65].

На Севере, где незамерзаемости водных масс в источниках достичь легче, чем на очистных сооружениях, проще решать отстаивание, фильтрацию и иные способы предочистки воды при водоотборе. Исследования УКВ на водозаборах и анализ опубликованных материалов показали, что при правильном выборе конструкций водоприемников и назначении режимов их взаимодействия с источниками возможно получение высококачественной воды. Поэтому вполне оправданы экономически, целесообразны технологически и экологически даже самые сложные строительные-эксплуатационные мероприятия по созданию водоприемников, способных очищать отбираемую воду. Оправданно при этом развитие обширного водоприемного фронта. Обеспечение $v_{\text{вх}} \leq 0,05... 0,005$ м/с исключает кольматацию фильтрующих элементов, влияние наносов, шуги, руслоперформирование [33, 61].

Важно при этом правильно оценить условия взаимодействия водоприемно-дренажных устройств с фильтрующей средой водоприемников и водоисточников. Предложены и проверены в эксплуатации дренажно-водоприемные устройства, разработанные Ю.И. Вдовиным [22].

Ю.В. Якуниным и Н.Г. Хазиковым [61], и зарубежные [64], действующие в условиях Сибири и Севера 8...30 лет и более. Эти конструкции позволяют изготавливать их серийно для индустриализации строительства водоприемников аналогично производству серийных конструкций фильтров водозаборных скважин и дренажей [63, 65]. Идея индустриально-серийного производства дренажно-фильтрующих устройств принадлежит А.К. Еншу, А.А. Сурину. Она частично осуществлена при водоснабжении железнодорожных объектов Ф.И. Письменским. Для Севера перспективны дренажно-водоприемные устройства водозаборов из пористо-бетонных, пористо-керамических, пористо-стекловолоконистых, металлокерамических и тому подобных фильтрующих элементов [25]. Исходя из изложенного очистка забираемой дренажно-водоприемными элементами водозабора воды без кольматации и суффозии фильтрующих обсыпок дрен по гидродинамическим параметрам обеспечивается, если:

- эксплуатационный дебит инфильтрационно-фильтрующих устройств $Q_{вх.э}$, меньше $Q_{вх.кр}$, т.е.

$$Q_{вх.э} < Q_{вх.кр}; \quad (12.10)$$

- скорость фильтрации $v_{ф.ср}$ в фильтрующих обсыпках дрен происходит в ламинарном режиме

$$v_{ф.ср} < v_{ф.доп}; \quad (12.11)$$

- $k_{ф.др}$ фильтрующих обсыпок водоприемно-дренажных устройств больше $k_{ф.алл}$

$$k_{ф.др}/k_{ф.алл} > 1; \quad (12.12)$$

- очистка отбираемой воды обеспечивается без кольматации и суффозии фильтрующих обсыпок дрен водоприемных устройств при ламинарном режиме фильтрации при

$$d_{ф.др}/d_{суф.алл} < 12, \quad (12.13)$$

где $d_{ф.др}$ — диаметр материала фильтрующей обсыпки дрены; $d_{суф.алл}$ — диаметр выносимых частиц пород аллювия.

Обследования ряда действующих водозаборов аллювиальных вод на Севере [22, 25], выполненные эксперименты [60] в сопоставлении с опубликованными материалами [9, 33] подтверждают, что недостатки в работе инфильтрационно-фильтрующих водозаборов (преждевременный выход из строя, заиливание дрен, галерей, траншей, ухудшение качества воды, необеспечение ожидаемой степени ее очистки и др.) обуславливаются низким уровнем качества работ по сооружению водоприемной части водозаборов и неправильной эксплуатацией сооружений и источников.

В связи с широким диапазоном мерзлотно-гидрологических и гидрогеологических условий источников, определяющих технологии отбора и очистки воды на водоприемниках, большим разнообразием качественных характеристик забираемой воды из источников при крайней пестроте применяющихся типов, конструкций и модификаций водоприемных устройств по их функционально-технологическим и эксплуатационным показателям невозможно выполнить четкий технико-экономический и эксплуатационно-технологический анализ и сопоставление применяющихся водозаборно-очистных сооружений и качества получаемой ими воды.

Технологии водоприема при искусственном пополнении запасов подрусловых вод (ИППВ) в зоне мерзлоты освещены при рассмотрении взаимосвязи поверхностных и подрусловых вод, приемов обводнения и управления водозапасами таликов и их гидротепловым режимом [20, 95]. При правильном размещении и устройстве водозаборов удается забрать до 90 % минимального подруслового стока. Надежность водоприема повышается сбросом горячей воды, пара.

Забор воды глубоких подрусловых таликов требует развития водоприемного фронта, в частности, устройства лучевых инфильтрационных водозаборов, которые допускают возможность регулирования термического режима водоносного пласта и водозапасов в нем. Применяют различные методы повышения надежности водозаборов подрусловых вод, сводящиеся к управлению тепловым режимом водотоков и таликовых зон под ними; к снего-

задержанию в акватории водоприема, к искусственным наледям выше водозабора, мерзлотным поясам для задержания подруслового потока ниже водозабора, обводнению подрусловых отложений или полпитке озер с недостаточной глубиной и др. Улучшение теплового режима поверхностных вод и увеличение запасов их достигается созданием дамб, плотин, полузапруд и т.п. Многие теоретические и инженерные аспекты этой задачи требуют дальнейших исследований, поскольку обоснования и инженерные приемы ИППВ открывают новые перспективы в улучшении водоснабжения из малых и перемерзающих рек [62].

Кроме приведенных выше способов обводнения подрусловых отложений возможны и другие приемы ИППВ, применяющиеся в зоне мерзлоты. В.Г. Гольдтман, А.И. Калабин [9] и другие доказали эффективность ИППВ в широком диапазоне конкретных мерзлотно-гидрогеологических и гидрологических условий Севера и Забайкалья. ИППВ, совмещенное с задачей охлаждения циркуляционных вод (рис. 12.14), осуществлено в 1970–72 гг. для водоснабжения одного из энергетических объектов Золотой Якутии [37]. Примеры ИППВ в зоне мерзлоты изложены в работах Л.М. Мотрича, А.П. Паршина и др. Имеющиеся к настоящему времени наработки в России и за рубежом [66...68] показывают возможность расширения ИППВ в районах мерзлоты. Следует отметить, что нормативно-рекомендательные документы по ИППВ на Севере могут использоваться с осторожностью и большими коррективами [27, 69]. Это подтверждают работы А.В. Львова, Е.В. Степаненко, М.Я. Чернышева, Н.М. Губкина, Н.А. Вельминой, А.А. Зеленкевича и др.

При малых таликах и суммарном объеме поверхностного стока задачу следует решать устройством запруд на перехват и поверхностного, и подруслового стока, хотя к строительству плотин следует прибегать, если невозможны другие, даже сложные способы регулирования. Надежнее, как отмечают А.В. Львов, Е.В. Степаненко и другие, глухие плотины, т.е. без водосбросов. Часто водоприем в Сибири можно обеспечить при

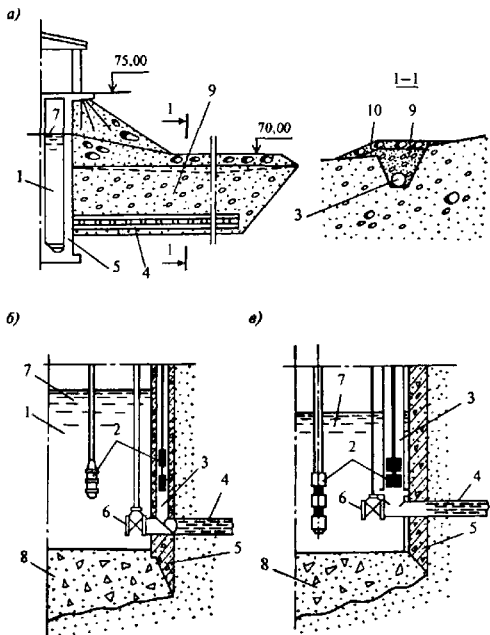


Рис. 12.14. Водозаборы-охладители:

а) — инфильтрационно-фильтрующий лучевой водозабор-охладитель (Тюменская обл.); б) — лучевой водозабор-охладитель со скважинами в стенках шахты; в) — то же, но со скважинами-колонок; 1 — шахта; 2 — насос в шахте; 3 — вертикальная скважина; 4 — дрена-луч; 5 — стенка шахты; 6 — задвижка; 7 — уровень в шахте; 8 — фильтр; 9 — обратная засыпка местным грунтом; 10 — каменная наброска

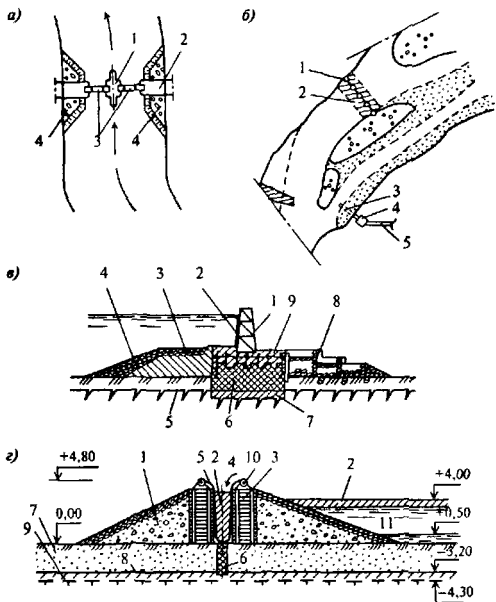


Рис. 12.15. Сезонное регулирование стока малых рек:

a) – заплотами: 1 – русловой устой; 2 – береговые устои; 3 – заплоты; 4 – каменная наброска; *б)* – мерзлотной завесой: 1 – замораживающие устройства; 2 – мерзлотная завеса, 3 – дрена; 4 – насосная станция; 5 – водовод; *в)* – водосливной плотиной (р. Амазар): 1 – фермы Поарэ; 2 – щиты; 3 – фашинное крепление; 4 – крепление камнем; 5 – скала; 6 – каменная кладка; 7 – бетон; 8 – ряжи, загруженные камнем; 9 – железобетон; *г)* – фильтрующей плотиной с изменяемой проницаемостью: 1 – фильтрующая гравийно-галечниково-песчаная часть плотины; 2 – лед; 3 – ряж; 4 – вода; 5 – пленочное полотнище; 6 – экран; 7 – аллювий; 8 – водоупор; 9 – вечная мерзлота; 10 – жердн; 1 – река

условии ИППВ на основе сезонного регулирования стока перемерзающих рек [29] исходя из характеристик водотока и их гидрогеологических и гидротермических особенностей, сопоставляя гидрографы поверхностного и подруслового стока и потребности в воде в бессточный период.

Решения эти разнообразны; некоторые из них приведены на рис. 12.15. Так, решена проблема водоснабжения устройством ежегодных сезонных полузапруд и запруд из перемерзающих рек выше каптажных сооружений поселка и автобазы Артык (Оймяконье, РС(Я)). Применено ИППВ: обводнение талика созданием инфильтрационных бассейнов; созданием мерзлотной завесы несколько ниже каптажа с образованием наледного массива и созданием мерзлотно-ледовых плотин сезонного действия. Создание дополнительных запасов воды на бессточный период обеспечивает утепление талика, увеличение его водозапасов с повышением температуры подрусловых вод на $0,5...1,5^{\circ}\text{C}$.

12.9. Защита водоприемно-очистных, водоотводящих и водосборных устройств от перемерзания

На Севере водоприемно-очистные, водоотводящие и водосборные элементы водозаборов в той или иной мере нуждаются в регулировании их теплового режима, обогреве. При водоотборе из крупных рек необходимость и целесообразность обогрева водоприемного фронта диктуется шуголедовыми проявлениями, длительностью и интенсивностью внутриводного льдообразования. Инфильтрационный и инфильтрационно-фильтрующий водоприем не требуют обогрева. Если подрусловые и таликовые зоны достаточно мощны ($\geq 10...15$ м), то обогрев их не нужен, так как существенного влияния на тепловой режим акватории не достигается. Бесполезно подводить тепло и к водоприемнику, если видна угроза

его перемерзания. Необходима защита водоприемных, водоотводящих и водосборных устройств от образования шуги в отводимой воде, но целесообразность, пределы и эффективность их обогрева оценивают по-разному. Более правомерно решать защиту от перемерзания не только водозаборно-очистных сооружений, но и самих источников, особенно при отсутствии пополнения и постоянном изъятии части водозапасов и соответственно тепловых ресурсов. В этих случаях более целесообразно и надежно увеличивать водозапасы и улучшать гидротермику источников рассмотренными выше приемами [22] со всемерным сокращением потерь тепла источником и всеми элементами водозабора [25, 70].

От перемерзания наиболее нуждаются водоотводящие и водосборные элементы, проходящие сквозь толщу вечной мерзлоты поймы и берегов. В крупных и средних реках и водоемах с мощными таликами, как показала практика, обогрев самотечных линий и галерей не требуется, так как тепло отбираемой воды компенсирует теплотери вследствие устройства мощных фильтрующих обсыпок вокруг дрен (галерей), водосборных шахт (колодцев), проходящих через мерзлоту, располагающихся в ней или контактирующих с ней. В каждом конкретном случае нужна оценка теплового баланса системы «водоисточник — аллювиальная толща — водоприемник — вечная мерзлота». Для защиты от перемерзания самотечных (водоотводящих) линий через береговую мерзлоту устраивают проходные штольни, что стало, в сущности, типовым решением.

На рис. 12.16 а приведены результаты термометрических исследований водозаборных сооружений пос. Северный (р. Яна, Якутия) [22]. Установлена фактическая динамика изменения температурного режима грунтов в зоне действия водозабора, под руслом, в толще береговой мерзлоты, а также в ореоле влияния водосборной шахты. Охлаждение водоприемных устройств мерзлотой зимой приводило к обледенению внутренней полости галереи (рис. 12.16 б) с образованием шуги в отводимой воде в шахтах в январе—апреле, особенно в первые три

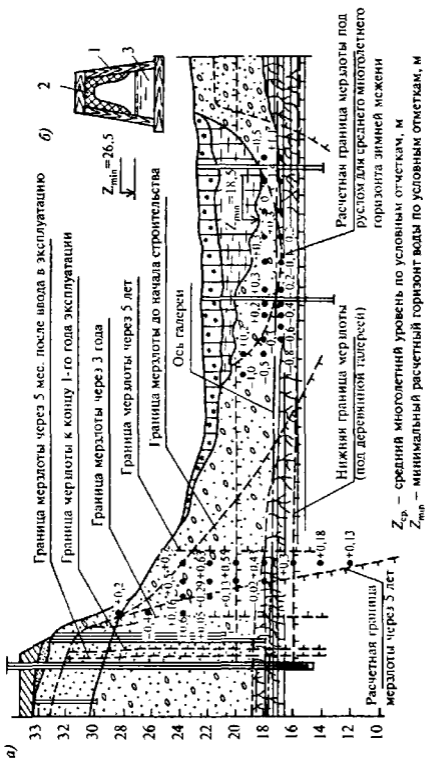


Рис. 12.16. Гидротепловой режим водозабора на р. Яна (пос. Северный):

а) — общая схема; б) — обледенение галереи; 1 — галерея; 2 — обледенение стенок и кровли водозборной галереи; 3 — отводная вода

года после строительства водозабора. Причем образование шуги имело место при устойчивом ледоставе в русле [22]. Рабочее состояние водоприемников (водосборных, водоотводящих, береговых элементов), эксплуатируемых с интервалами в отборе воды, обеспечить тем труднее, чем больше мощность прорезаемых сооружениями вечномерзлых толщ и меньше водоотбор. Незамерзаемость достигается разными методами; наиболее часто применяют на практике:

- непрерывную откачку воды в течение суток;
- сброс части $Q_{\text{из}}$, сверх поданного потребителю, в источник (пласт, аллювий талика, русло) с некоторой циркуляцией воды;
- эпизодический сброс в каптажи горячей воды, пара;
- обогрев линейными источниками тепла (электрокабели);
- «тепловые спутники» из кольцевых трубопроводов горячей воды, пара и т.п.

В скважинах и шахтах глубиной 15...30 м защиту обеспечивают электрообогрев линейными источниками (электрокабели), пневмосистемы, использование эрлифтов и др. (рис. 12.17). Электрообогрев наиболее перспективен и технически совершенен, защищает от перемерзания элементы, работающие в любом режиме, при любых колебаниях уровней, температур отбираемых вод и мерзлых пород, режимах откачки, мощности. Метод основан на дополнительном прогреве воды в сооружении с помощью электрокабеля, работающего как линейный нагревательный элемент. Методика расчета электрообогрева, наиболее отвечающая условиям действительной работы, разработана в соавторстве с Б.А. Губановым. Также возможна защита дрен, галерей от перемерзания прокладкой их в полупроходных или непроходных галереях (штольнях) с обогревом «тепловым спутником» со сбросом или без него пара, горячей воды в концевых участках, созданием мощных (до 5...7 м) обсыпок из крупнопористых фильтрующих материалов, с паро- или иглооттайкой мерзлоты вдоль и вокруг сооружений и др.

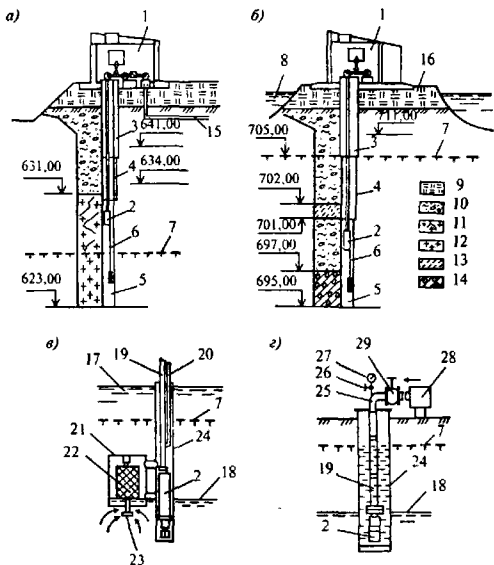


Рис. 12.17. Примеры защиты водозаборов подрусовых вод от перемерзания:

а) – в бассейне р. Алдан; б) – на р. Артык; в) – устройство для забора воды из-под льда; г) – пневмозащита; 1 – насосная; 2 – насос; 3 – кондуктор; 4 – фильтр; 5 – отстойник; 6 – электрокабель обогрева скважин; 7 – граница мерзлоты; 8 – река; 9 – подсыпка; 10 – русловые отложения; 11 – трещиноватые граниты; 12 – плотные граниты; 13 – глинистые сланцы; 14 – сланцы с валунами; 15 – напорный водовод; 16 – островок под наносную стайцию; 17, 18 – статический и динамический уровни; 19 – водоподъемная труба, 20 – воздушная труба; 21 – поплавковая камера; 22 – поплавок; 23 – клапан; 24 – обсадная труба; 25 – оголовок; 26 – вентиль; 27 – манометр; 28 – компрессор; 29 – задвижка

Литература к гл. 12

1. Баранов И.Я. Геокриологическая карта СССР. Масштаб 1:5000000. – М.: Изд-во ГУГК Совмина СССР, 1984.
2. Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение (геокриологиз). – М.: Изд. МГУ, 1978.
3. Некрасов И.А. Криолитозона Северо-Востока и Юга Сибири и закономерности ее развития. – Якутск, 1976.
4. Велли Ю.Я., Докучаев В.В., Федоров Н.Ф. Справочник по строительству на вечномёрзлых грунтах. – Л.: Стройиздат, 1977.
5. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1983.
6. Методические рекомендации по учету стока на реках в зимний и переходные периоды. – Л.: Изд. ГГИ, 1980.
7. Алексеев В.Р. Наледи Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: Наука, Сиб. о., 1984.
8. Чистяков Г.Е. Водные ресурсы рек Якутии. – М.: Наука, 1964.
9. Калабин А.И. Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР // Тр. / ВНИИ-1. – Магадан, 1960. – Вып. 18.
10. Зеленкевич А.А. Основные черты гидрогеологического строения и прогнозная оценка эксплуатационных запасов подземных вод Крайнего Северо-Востока СССР // Тр. ВНИИ-1. – Магадан, 1963. – Т. XXII.
11. Левашов А.А. Особенности русловых процессов на реках зоны с глубоким промерзанием грунтов / Автореф. дис... канд. техн. наук. – Л., 1976.
12. Панов Б.П. Зимний режим рек СССР. – Л.: Изд. ЛГУ, 1960.
13. Коржавин К.Н. Некоторые особенности ледотермического режима рек и водоемов Сибири и их учет при работе водозаборных сооружений // Сб. тр. / НИИЖТ. – 1985. – Вып. 164.
14. Толстухин Н.И. Подземные воды литосферы. – М.; Л.: Госгеолитиздат, 1941.
15. Толстухин О.Н. Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР. – Новосибирск: Наука, 1974.
16. Романовский Н.Н. Подземные воды криолитозоны. – М.: Изд. МГУ, 1983.
17. Артеменок Н.Д. Очистка подземных вод нефтегазоносных регионов Западной Сибири для целей хоз.-питьевого водоснабжения / Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – М., 1992.
18. Афанасенко В.Е. Талики Северо-Востока и их роль в формировании мерзлотно-гидрогеологических условий / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1974.

19. ВНИИГ. Рекомендации по термическому расчету водохранилищ. — Л., 1979.
20. Вельмина Н.А. Каптаж подземных вод в условиях вечной мерзлоты. М.: Изд-во АН СССР, 1952
21. Полищук Н.К. Форма таликов под водотоками в области многолетней мерзлоты // Физико-химические процессы в промерзающих и мерзлых горных породах. — Изд-во АН СССР, 1961.
22. Вдовин Ю.И. Водоснабжение на Севере. — Л.: Стройиздат, Л.о., 1987.
23. Пчелкин Г.А. Особенности водозаборных сооружений в суровых климатических условиях // Тр. IV совещания-семинара по строительству в суровых климатических условиях. — Красноярск, 1968. — Т. XI.
24. Порядин А.Ф. Водозаборы в системах централизованного водоснабжения. — М.: Изд. НУМЦ ГКЭР, 1999.
25. Вдовин Ю.И. Водоснабжение населенных пунктов на Севере. — Л.: Стройиздат, Л.о., 1980.
26. Вдовин Ю.И. Лед и снег как источник водоснабжения: Сб. — Новосибирск: Наука, 1986. — Проблемы инженерной гляциологии.
27. ВНИИ ВОДГЕО. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84). — М.: Стройиздат, 1989.
28. ВНИИ ВОДГЕО. Проектирование сооружений для забора поверхностных вод. — М.: Стройиздат, 1990.
29. Вдовин Ю. И. Забор воды из перемерзающих рек // Водоснабжение и санитарная техника. — 1989. — № 4.
30. Вдовин Ю.И., Серов И.А., Образовский А.С. Фильтрующие оголовки, их классификация и основные схемы // Информ. сб. / ЦИНИС Госстроя СССР. — М.: 1970. — Вып. 4 (65). — Серия IV. — Водоснабжение и канализация.
31. Образовский А.С., Ереснов Н.В., Казанский Е., А., Ереснов В.Н. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников. — М.: Стройиздат, 1976.
32. Cohen J.B., Verson B.E. Arctic Water storage. — Journal of American Water Works Association. — March 1968.
33. Сахаров И.В. Особенности проектирования и строительства водопроводных очистных сооружений в районах Крайнего Севера // Сб. тр. / ЛИСИ. — Л., 1964. — Водоснабжение и канализация населенных мест в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. — Вып. 2.
34. Степаненко Е.В. Записка по вопросам водоснабжения Средней части Амурской железной дороги. — Благовещенск, 1915.

35. Ball D.I., Call I.H. Us Sanitary and Hydraulic Engineering practice in Greenland - International Conference on Permafrost. - Section - Water Supply. - New-York. - 1963.
36. Devik O. Present experience on ice problems connected with the utilization of water power in Norway. - Journal hydraulic research. - 1969. - N1.
37. ЦНИИЭП инженерного оборудования. Отчет по теме: Обобщение опыта проектирования, строительства и эксплуатации систем инженерного оборудования населенных мест в условиях, сходных с приполярными и арктическими зонами Западно-Сибирского нефтегазового комплекса. - М., 1986.
38. Дмитриев В.Д. Методы подготовки воды в условиях Севера. - Л.: Стройиздат, Л.о., 1981
39. Awwa I. Water conservation and Management in Barrow, Alaska. - Of American Water Works Association. - 1987. - Vol. 79. - N3.
40. Hoar Ch., Clark I.K. A Sanitary service Complex for Villages in Permafrost Regions. - Second International Conference on Permafrost. - 16...28 July, Yakutsk, USSR. - 1973.
41. Ганцев С.И. Использование естественного холода в дорожно-строительных целях. - М.: Изд. ГУшоссдор МВД СССР. - 1951.
42. Вдовин Ю.И. Управление руслом северных рек в зимнее время // Сб. тр. / ЯГУ. - Якутск, 1985. - Водопрпускные сооружения в условиях Крайнего Севера.
43. Фоминых А.М. Промывка неподвижных загрузок фильтрационных сооружений // Изв. вузов. - Строительство и архитектура. - 1957. - № 7.
44. А.с. 1217977 СССР. Устройство для регулирования русла водотоков при наличии ледяного покрова / Ю.И.Вдовин, В.И.Карелин // Открытия Изобретения. - 1986. - № 10.
45. Абрамов С.К., Алексеев В.С. Забор воды из подземного источника. - М.: Колос, 1980.
46. СНиП 2 04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. - М.: Стройиздат, 1985.
47. Образовский А.С. Гидравлика затопленных водоприемных оголовков. - М.: Стройиздат, 1963.
48. Вдовин Ю.И. Совершенствование технологий водоприема и водозаборных сооружений для систем водоснабжения на Севере: Дис. ...д-ра техн. наук. - М., 1996.
49. ЯФ СО АН СССР. Водоснабжение из подземных источников в Якутии - Якутск, 1981.
50. Федоров Н.Ф., Заборщиков О.В. Справочник по проектированию систем водоснабжения и канализации в районах вечномерзлых грунтов. - Л.: Стройиздат, Л.о., 1979.

51. Смирнов А.А. Водозабор с незатапливаемой фильтрующей дамбой в водоеме // Сб. тр. / ВНИИ ВОДГЕО. — 1988. — Водопропускные и водозаборные сооружения.
52. Коновалов И.М., Емельянов К.С., Орлов П.Н. Основы ледотехники речного транспорта. — М.: Речиздат, 1952.
53. Аверкиев А.Г., Макаров И.И., Синотин В.И. Бесплотинные водозаборные сооружения. — Л.: Энергия, 1969.
54. Москвин А.В. Водозаборы на реках Севера // Сб. тр. / АКХ, — М., 1962. — Инженерные сети в условиях вечной мерзлоты. — Вып. 12.
55. Пехович А.И. Основы гидроледотехники. — Л.: Энергоиздат, 1983.
56. Образовский А.С. Водозаборные сооружения на реках Севера. — М., 1970. — Архив ВОДГЕО. — № 6125.
57. Образовский А.С. Гидравлика водоприемных ковшей. — М.: Стройиздат, 1962.
58. ВНИИВОДГЕО, ГПИ Союзводоканалпроект // Информ. сообщение / Рекомендации по проектированию фильтрующего водоприема хозяйственно-питьевых и промышленных водозаборов. — М., 1968. — (I-я редакция).
59. Макиеров Н.С. Устройство и эксплуатация водоприемных сооружений на реках Сибири. — М.: МЖКХ РСФСР, 1957.
60. Соломеник С.Ф. Особенности работы и расчет подрусовых водозаборов в суровых природно-климатических условиях: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Л., 1989.
61. Хазиков Н.Г. Инфильтрационный водозабор в суровых климатических условиях // Сб. тр. / ЛИСИ. — Л., 1968. — Водоснабжение и канализация в Восточной Сибири и Кр. Севере.
62. Берданов В.М., Вдовин Ю.И., Никитин А.М. Опыт и перспективы применения искусственного пополнения подземных вод в условиях Севера, Сибири и Дальнего Востока // Водоснабжение и санитарная техника. — 1981. — № 1.
63. А.с. 1207763 СССР. Дренажное устройство / Ю.И. Вдовин // Открытия. Изобретения. — 1986. — № 5.
64. Hantke H. Der Betrieb von Sickerleitungen zur künstlichen Groundwasseranreicherung. — GMF. — Wasser/abwasser. — 1984. — Т. 125. — N 4.
65. Абрамов С.К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. — М.: Стройиздат, 1973.
66. Вдовин Ю.И., Губанов Б.А. Новый тип лучевого водозабора // Водоснабжение и санитарная техника. — 1966. — № 9.
67. Вдовин Ю.И., Губанов Б.А. Усовершенствование лучевого водозабора // Водоснабжение и санитарная техника. — 1974. — № 10.

68. Tisdell F.W., 1964. Water supply from ground Water sources in permafrost areas of Alaska, in Science in Alaska. – Fourteenth Alaskan Science Conference, Am. Assoc. Advancement of Sci., Alaska Division. – 1963.
69. ВНИИ ВОДГЕО. Рекомендации по проектированию и эксплуатации систем искусственного пополнения запасов подземных вод (ИППВ). – М., 1976.
70. Вдовин Ю.И., Губанов Б.А. Эксплуатация подмерзлотных водоносных пластов // Земля сибирская, дальневосточная. – 1981. – № 10.

ГЛАВА 13. ИНФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

13.1. Типы инфильтрационных сооружений и область их применения

Классическое понятие инфильтрационного водозабора базируется на отборе воды из скважин или шахтных колодцев, когда депрессионная воронка образуется при фильтрации грунтовых вод, питающих водотоки или водоемы, или, наоборот, когда существует фильтрация поверхностных вод через ложе и береговые откосы водотоков в грунт (рис. 13.1). Подрусловая вода при исключении попадания в нее вод с поверхности земли, как правило, полностью осветлена и освобождена от бактерий. Цветность воды, обусловленная наличием в ней гуминовых, фульвокислот и других окрашивающих органических растворенных веществ, снижается при инфильтрации лишь частично.

Инфильтрационные водозаборные сооружения разделяются на горизонтальные, вертикальные и лучевые. Горизонтальные водозаборы в зависимости от глубины захвата подрусловых вод бывают с гравийно-щебеночной обсыпкой (при $H_3 \leq 3$ м), трубчатые (при $H_3 \geq 4...5$ м), галерейные ($H_3 \geq 6...8$ м) и штольневые ($H_3 > 8$ м). К вертикальным инфильтрационным водозаборами относятся классические сооружения — скважины ($H_3 > 10...30$ м) и шахтные колодцы ($H_3 \leq 10...30$ м). Горизонтальные и вертикальные водозаборные подрусловые инфильтрационные сооружения по своей конструкции не отличаются от сооружений, забирающих воду из напорных и безнапорных подземных горизонтов [1...3].

Наибольшее распространение по экономичности водозабора и продуктивности подрусловых вод получили ин-

фильтрационные водозаборы. Природное питание подземных водоносных горизонтов (пластов) осуществляется за счет фильтрации атмосферных осадков и дренажных ирригационных вод, фильтрации и инфильтрации вод речных русел и водохранилищ, обводнительных каналов и др. Чрезмерная, с повышенным водоотбором эксплуатация подземных пластов приводит к их истощению, ухудшению качества отбираемой воды. Ухудшение качества подземной воды наблюдается и при фильтрации соленых вод из лиманов и морей. Увеличение аккумуляции подземных вод достигается искусственным их восполнением за счет закачки предварительно очищенной и обеззараженной речной или озерной воды в водоносный пласт с специальных нагнетательных скважин (напорная инфильтрация) или специальными инфильтрационными бассейнами.

Уже в конце XIX столетия использовался метод самотечной инфильтрации на территориях аллювиальных отложений [15...17]. Для самотечной инфильтрации поверхностных вод в водоносные горизонты применяют открытые наземные бассейны, борозды и траншеи, затопленные территории с хорошо водопроницаемыми грунтами, старые речные русла, карьеры. Одним из наиболее рациональных методов восполнения дефицита пресной воды в маловодных и засушливых районах являются искусственно созданные подземные водохранилища с фильтрацией в более глубокие водоносные горизонты. Ниже рассмотрены особенности конструкций, расчета и эксплуатации различных типов инфильтрационных сооружений.

Технологии инфильтрационного водоприема, типы и конструкции инфильтрационных водозаборов, особенности их эксплуатации достаточно разнообразны по объемам забора воды, технологиям строительства сооружений и водоотбора, условиям взаимодействия поверхностных и подрусловых аллювиальных вод в зоне действия инфильтрационных сооружений. Выполнены фундаментальные научно-производственные, опытно-конструкторские и эксплуатационные исследования, и накоплен обширный опыт использования в системах водоснабжения

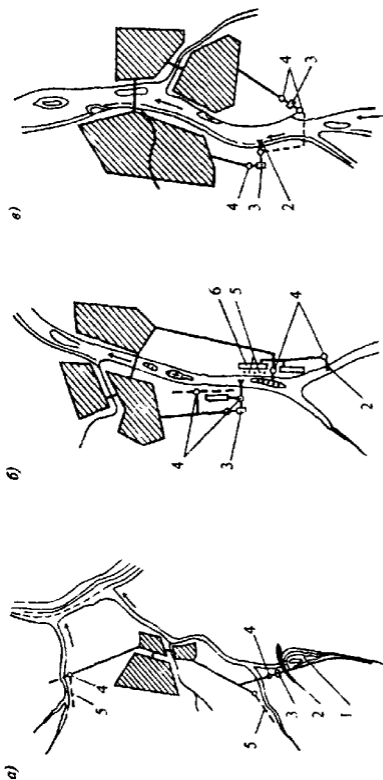


Рис. 13.2. Обобщающие схемы наиболее надежных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения в Сибири и на Дальнем Востоке:

а-в) — соответственно при малой, средней и большой производительности подопроводов; 1 — воздухоулавлищик; 2 — открытый водозабор; 3 — водоочистная станция; 4 — водоочистная станция; 5 — насосные станции; 6 — насосные станции; 7 — волногребневый ковш; 8 — соединительные трубопроводы [29]

инфильтрационных водозаборов в широком диапазоне природно-климатических и гидрогеологических условий, включая регионы сурового климата (Сибирь) и распространения вечномёрзлых грунтов (Крайний Север).

К настоящему времени накоплены ценные сведения по выбору типа и конструкций инфильтрационных водозаборов, режимов их эксплуатации, мерам повышения водозапаса подрусовых вод в различных регионах [20].

Выполнены обширные исследования по изучению механизма кольматации и его влияния на работу подрусовых и береговых инфильтрационных сооружений в районах Сибири [21] и Дальнего Востока [22], при резком сокращении зимнего стока и перемерзании подледных потоков (рис. 13.2). Разработаны теоретические основы и практически реализованы принципы регулирования запасов подрусовых вод в самых сложных мерзлотно-гидрогеологических условиях, обводнения водовмещающих аллювиальных отложений [23, 24, 25]. В последние годы сделаны попытки на основе обширного научного и производственного материала оценить влияние мерзлотно-термодинамического фактора на условия эксплуатации инфильтрационных водозаборов в районах Сибири и Дальнего Востока [26, 27].

13.2. Искусственное пополнение запасов подземных вод

На рис. 13.3 показана схема искусственного накопления поверхностных вод в периоды паводков и ливней в грунтовых бассейнах. При таком решении вода из водосборных бассейнов самотеком поступает в открытые водоемы, а оттуда — по водоподводящим каналам или трубам подается за счет гидростатического напора или насосом в инфильтрационные бассейны. При устройстве бассейнов используют либо естественное, либо искусственное ложе из хорошо водопроницаемых пород. Фильтруясь через эти породы, вода накапливается в подземных водохранили-

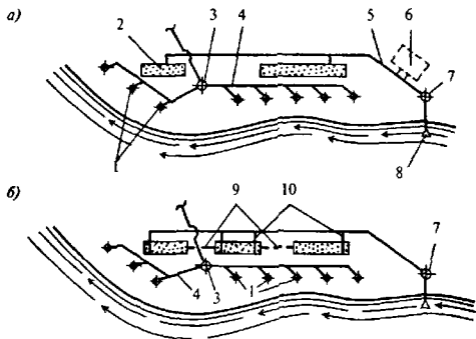


Рис. 13.3. Водозабор с системой очистки воды:

а) — с обычной технологией инфильтрации; б) — с усовершенствованной технологией; 1 — водозаборные скважины; 2 — инфильтрационные бассейны; 3 — насосная станция второго подъема; 4 — водосборный трубопровод; 5 — распределительный трубопровод; 6 — водоочистная станция; 7 — насосная станция первого подъема; 8 — открытый водоприемник; 9 — соединительные трубопроводы; 10 — рассеивающие выпуски

щах («линзах») с водонепроницаемым ложем, а иногда — и с искусственно построенными подземными плотинами-диафрагмами.

Естественное восполнение подземных запасов воды наблюдается на горно-предгорных участках рек, где их ложе сформировано крупнозернистыми песками или песчано-гравелистыми отложениями с большим коэффициентом фильтрации. Это наблюдается на многих реках Сибири, Северного Урала, Прикарпатья, Северного Кавказа и Средней Азии, Крыма. При интенсивной фильтрации атмосферных осадков и речного стока через известково-гравелистое ложе величина стока может практически приближаться к нулю. Такие реки часто в течение года пересыхают.

При искусственном восполнении подземных запасов за счет речного стока первостепенное значение имеют два фактора: наличие водовмещающих с хорошей водопроницаемостью пород и качество воды в реках в районе водозабора. Как правило, при решении этой задачи используют на первом этапе водоотбора защищенные сетками водоприемные оголовки и колодцы водоприемных шахт. Второй этап безреагентной очистки воды осуществляют в открытых бассейнах-отстойниках больших площадей, где продолжительность отстаивания может достигать 7...10 ч. Примером такого решения является инфильтрационный водозабор Дрездена [7, 8] общей площадью инфильтрационных бассейнов до 150 га. После отстаивания в водоем-отстойнике вода фильтруется через скорые фильтры и поступает в инфильтрационные бассейны, из которых с помощью трубчатых колодцев и сифонных водоводов подается в резервуары чистой воды.

Необходимые фильтрационные свойства днищ бассейнов и водохранилищ поддерживают периодической их очисткой плавсредствами и земснарядами. Стабильную скорость инфильтрации воды поддерживают засевом инфильтрационных водоемов камышом специальных сортов, корневая система которых разрыхляет днища водоемов. Густота засева зарослей камыща в таких бассейнах достигает до 100 стеблей на 1 м^2 зеркальной поверхности.

Принципиальные схемы грунтовых водохранилищ с очисткой каптажем инфильтрационной воды с помощью горизонтальных водосборов показаны на рис. 13.4. Один из основных недостатков бассейновых инфильтрационных водозаборов — кольматация донных и боковых инфильтрационных поверхностей илом, образующимся при отстаивании речных мутных вод. Выполненные некоторыми исследователями экспериментальные замеры при эксплуатации действующих инфильтрационных бассейнов выявили интенсивность заиливания фильтрующих поверхностей бассейнов и определенные свойства закольматированных пластов и илистых пленок. Такие исследования применительно к рекам предгорного типа выполне-

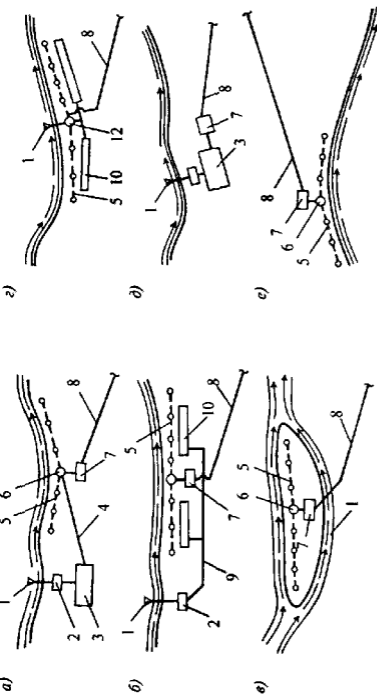


Рис. 13.4. Примеры компоновки водозаборных узлов:

1 — водоприемник из открытого источника; 2 — насосная станция первого подъема; 3 — подоочистная станция; 4 — самотечный трубопровод; 5 — водоохладительные устройства для подрусловых вод; 6 — водосборный колодец; 7 — насосная станция второго подъема; 8 — напорный трубопровод чистой воды; 9 — трубопровод подачи воды в инфильтрационные бассейны; инфильтрационные бассейны; 11 — прорезь (обводной канал); 12 — водосборный колодец, совмещенный с насосной станцией

ны Т.В. Бурчак [5], которая предложила определять водоотдачу, выраженную объемом воды W , м³, инфильтрационного бассейна длиной L за период T по формуле

$$W = L (2b + 1,34l) \sqrt{2HP T}, \quad (13.1)$$

где b — половина ширины бассейна по дну, м; l — длина откоса от уреза воды до дна бассейна, м; H — глубина воды в бассейне, м; T — продолжительность фильтрации воды из бассейна, сут; P — значение, зависящее от мутности речной воды и свойств образующейся на откосах и дне илистой пленки, м/сут,

$$P = \frac{K_n \gamma_n}{M}, \quad (13.2)$$

где K_n — коэффициент фильтрации пленки, м/сут; γ_n — плотность скелета пленки, г/см³; M — мутность воды, поступающей из реки в бассейн, г/см³.

Эффективность очистки (улучшение качества) воды в самих инфильтрационных бассейнах и водохранилищах (водоемах) зависит не только от фильтрационных свойств водоприемной поверхности, но и от интенсивности биохимических процессов самоочищения и технологических приемов, интенсифицирующих эти процессы (например аэрация воды в бассейнах) или направленных на тщательную предочистку речных вод.

Основная цель инфильтрационных систем водоснабжения — пополнение речной водой запасов подземных вод в истощенных водоносных пластах для устойчивой эксплуатации артезианских водозаборов. Причем такое пополнение производилась периодически при наиболее высоких в течение года качествах речной воды. Чтобы исключить загрязнение и коагуляцию взвесью водоносных пластов, поверхностные воды в таких системах очищали от взвешенных веществ как минимум медленным фильтрованием со скоростью 0,5...2 м/сут через песок на дне водопоглощающих бассейнов. Оттуда ее фильтровали далее по водоносному пласту к водозабору. При эксплуатации таких систем было обнаружено, что поверхностная вода хорошо очищается не только от взвешенных, но и растворенных в ней органических загрязнений и по качеству почти не уступает артезианской.

Это связано с наличием в воде поверхностного источника растворенного кислорода (его обычно нет в подземной) и разнообразной бактериальной аэробной микрофлоры. Ее развитие и закрепление на развитой поверхности песка в медленных фильтрах, а затем и в водоносном пласте в виде тонкой биопленки превращает ее в условиях стабильной температуры, малых скоростей фильтрации в пласте в высокоэффективный биофильтр, обеспечивающий окисление и минерализацию разнообразных органических соединений, содержащихся в поверхностной воде, соответственно количеству растворенного в ней кислорода. Успешному протеканию этого процесса способствует аэрация исходной воды и отказ от ее предварительного хлорирования, токсичного для бактериальной микрофлоры. Такая система производительностью до 150 тыс. м³/сут реализована в Цюрихе из р. Лиммат [7, 9].

В случаях сильного загрязнения и эвтрофикации поверхностной воды, наличия в ней токсичных для микроорганизмов тяжелых металлов фильтрующее дно поглощающих бассейнов быстро заиляется, а биопленка на нем перестает справляться с деструкцией повышенного количества загрязнений. Необходима предварительная очистка речной воды методами коагуляции, осаждения и быстрого фильтрования. При наличии в исходной речной воде синтетических биологически неразлагаемых органических загрязнений предочистка воды перед подачей ее в водоносный пласт усложняется дополнительным озонированием и сорбцией на активированных углях. Такая система производительностью около 120 тыс. м³/сут применена на водопроводной станции Мюльхейн (Германия), забирающей воду из сильнозагрязненного и эвтрофированного Рейна [10].

Доочистку воды озонированием и фильтрованием через уголь проводят после прохождения воды через водоносный пласт. Примером создания такой усложненной системы является водоочистной комплекс Краузи производительностью 150 тыс. м³/сут, используемый для водоснабжения Парижа [9, 10]. С истощением запасов подземных вод и необходимостью увеличить их водоотбор из

трещиноватых известняков с 1959 г. было начато искусственное пополнение водоносного пласта водой р. Сена выше сброса сточных вод Парижа. В связи с неудовлетворительным качеством речной воды, регулярным появлением в ней планктона и сильных привкусов и запахов ее подвергали сложной предварительной обработке: микрофильтрованию, прехлорированию дозой 0,8 мг/л (что ограничивает развитие планктона в открытых сооружениях), коагуляции полналюминий-хлоридом, флокуляции, осветлению в осветлителях со взвешенным осадком (типа «Пульсатор») и скорому фильтрованию на песчаных фильтрах.

При больших поступлениях загрязнений с территории города иногда применяют и предварительную обработку воды порошкообразным активированным углем (паводок, дождь). Фильтрованная вода проходит ступенчатый аэрактор для насыщения кислородом и попадает в 10 фильтрующих бассейнов с гравийно-песчаным основанием общей площадью 13 га и скоростью фильтрации 0,7...1,4 м/сут. Воду после инфильтрации и пребывания в водоносных пластах известняка в течение 7...15 сут откачивают 30 артезианскими насосами. Объем воды на пополнение в отдельные годы доходит до 60 % общего отбора ее из пласта. Такая обработка значительно улучшает качество речной воды, преобразованной в подземную. Последняя практически не имеет цветности и мутности. Содержание железа и марганца в ней не выше 0,01 мг/л, аммонийного азота — не выше 0,1 мг/л, а растворенный кислород находится на уровне 3...4 мг/л. В значительной мере при этом вода освобождается от растворенного органического углерода (ООУ):

Вода	ООУ, мг/л
Исходная речная.....	3,5...7
Очищенная перед подачей в водоносный пласт.....	2,8...3,5
Откачиваемая из пласта.....	1...1,8

Несмотря на столь значительное снижение ООУ в полученной таким способом подземной воде потребители отмечали неприятные привкусы и запахи, связанные с по-

явлением их в очищенной речной воде, подаваемой в водоносный пласт. Хотя после прохождения через водоносный пласт интенсивность запахов и привкусов снижалась в 1,5–2 раза, частота возникновения некоторых из них даже увеличивалась. Снижение привкусов и запахов в искусственной грунтовой воде обеспечивает станция доочистки, предусматривающая ее аэрацию, биологическую нитрификацию, озонирование дозой 0,5...0,7 мг/л, фильтрование через гранулированный активированный уголь и хлорирование дозой 0,1...0,15 мг/л. Пуск этих сооружений уменьшил интенсивность и частоту появления запахов и привкусов, изменил их характер. Высококочувствительные экстракционно-газохроматографические анализы микрочислеств летучих органических соединений, создающих привкусы и запахи, выявили неожиданную картину (таблица).

Изменение общего числа летучих органических соединений в воде по мере ее очистки

Показатель	Степень очистки воды					
	очищенная речная	Искусственная артезианская	Нитрифицированная	Озонированная	После ГАУ	Хлорированная
Общее число органических соединений	436	352	295	368	345	363
Число удаленных соединений	—	–107	–89	–35	–73	–44
Число вновь образованных соединений	—	+27	+68	+107	+56	+65

Очевидно, что радикально количество органических соединений в воде уменьшается при ее фильтровании в водоносном пласте. При этом минимально и количество вновь образующихся в ней соединений. На последующих ступенях очистки в основном трансформируются одни

соединения в другие с небольшим уменьшением их общей концентрации. Именно благодаря этому и происходит снижение исходных запахов и привкусов (землистых, плесневых, тинистых) и появление новых запахов и привкусов (пластиковых, фруктовых, рыбных, хлористых), особенно при озонировании. Исходные запахи и привкусы в основном трансформируются в другие, возможно маскирующие первые, а доочищенная питьевая вода практически содержит те же количества органических микрозагрязнений, что и искусственная грунтовая вода. При этом ни озонирование, ни фильтрование через ГАУ (последний работает без регенерации 2 года) практически не снижают содержание ООУ и хлорорганики, образующейся в воде, профильтрованной через водоносный пласт. Отмечается, что некоторые микрозагрязнения, исчезающие на первых ступенях доочистки, вновь появляются на последующих.

Аналогичная схема производительностью 200 тыс. м³/сут используется для водоснабжения Амстердама из сильнозагрязненного Рейна [10]. Речную воду после хлорирования и коагулирования в минимальных дозах отстаивают, фильтруют и затем подают на инфильтрацию со скоростью 0,25 м/сут в бассейнах, устроенных в прибрежных дюнах. После 2...3 мес пребывания в грунте инфильтрат самотеком собирают в резервуары и после аэрации, подщелачивания, периодического добавления порошкообразного активированного угля (ПАУ) фильтруют на скорых и затем медленных фильтрах, затем после хлорирования подают в город. В этой системе озон и фильтры с ГАУ заменены более простым и доступным ПАУ и медленными фильтрами. Эта система, как и описанная выше, характеризуется минимальным применением реагентов, высокой санитарной и экологической эффективностью и надежностью.

Отметим, однако, что, несмотря на внешнюю простоту, высокую надежность и эффективность очистки воды в водоносном пласте, системы водоснабжения, основанные на этом принципе, применимы только при наличии хорошо проницаемых пластов, они весьма дороги и сложны.

Необходимо глубокое осветление воды из поверхностных источников перед подачей ее в водоносные пласты, что, как минимум, требует применения инфильтрационных бассейнов большой площади. При эксплуатации последних необходимы также регулярные периодические очистки (промывки) их фильтрующей поверхности (1 – 2 раза в год), подавление в них развития летом планктона и высшей водной растительности. Другая проблема при эксплуатации таких систем – возможность обогащения воды в пласте железом и марганцем, а также замерзание воды зимой.

Не менее сложно изъятие из пласта большого количества воды, требующее даже в случае его высокой проницаемости большого количества артезианских скважин и погружных насосов, но достигаемое в этих системах безреакгентное 50...75 %-ное удаление органического углерода из воды в пласте компенсирует эти недостатки. Такие системы экономически целесообразны для расширения и продления службы существующих водозаборов подземных вод, особенно в южных районах.

13.3. Горизонтальные и вертикальные водосборы

Горизонтальные водосборы могут быть сооружены как непосредственно под руслом рек, так и на берегах для перехвата фильтруемых через откосы и днища вод, образующих в аллювиальных отложениях своеобразный водоносный горизонт или линзы-водоприемники профильтрованной воды. Рациональными, поддающимися удовлетворительным условиям эксплуатации, являются подрусловой или придамбовый горизонтальные дренажи-водозаборы, устраиваемые непосредственно в днище секций запасных емкостей или постоянно эксплуатируемых бассейнов-отстойников и, как дополнительное водоприемное сооружение – на сухом откосе низовья по рельефу ограждающих их дамб. Горизонтальный подрусловой водо-

сбор представляет собой траншею глубиной 0,8...1,2 м, на дне которой на слой песка толщиной 100...150 мм укладывают перфорированные асбестоцементные, пластмассовые, гончарные, керамические, пористобетонные, керамзитовые и другие трубофильтры диаметром 50...100 мм с уклоном 0,002...0,005 в сторону сборных колодцев. При устройстве перфорации на трубах отверстия принимают $D = 10...15$ мм через 150...200 мм в шахматном порядке в четыре ряда. Перфорированные трубы вначале обсыпают гравием с размерами зерен 8...32 мм, затем песком крупностью 0,3...2 мм. Пористые трубофильтры обсыпают только песком. Песок, применяемый для фильтрующей обсыпки, должен иметь коэффициент неоднородности ≤ 10 . Толщина засыпки гравием — 150...200 мм, песком — 0,8...0,1 м.

В днище секции можно устраивать несколько таких траншей — ветвей подруслового дренажа — водозабора на расстоянии 4...10 м один от другого. Ветви, прокладываемые вдоль дамбы смежных секций, следует устраивать на всю длину секции, чтобы в период осушения одной из них перехватывался фильтрационный поток, проходящий через дамбу и днище из смежной секции. Для регулирования работы подруслового дренажа-водозабора предусматривают камеру управления, в которой на трубопроводах от каждой секции устраивают задвижки и общий регулятор фильтрации. В каждом отделении на подводящей трубе устанавливают поплавково-запорный клапан, а на отводящем трубопроводе — задвижку, находящуюся под постоянным напором, что обеспечивает в зависимости от степени ее открытия стабильный расход воды из подруслового дренажа — водозабора каждой секции. Бак должен быть оборудован переливным трубопроводом, обеспечивающим сброс воды при неисправности поплавково-запорного клапана.

Поскольку камера управления будет находиться в мокрых грунтах, обязательно устройство пластового и пристенного дренажей с отводом фильтрационных вод в пониженное место или в отсечную дренаж. Трубопроводы подачи воды из подрусловых дренажей-водозаборов каждой

секции запасной емкости должны быть оборудованы патрубками с вентилями $D = 15 \dots 20$ мм, обеспечивающими отбор проб воды для анализа. В суглинистых грунтах с коэффициентом фильтрации $\geq 0,1$ м/сут дополнительным инфильтрационным сооружением к подрусловому дренажу — водозабору на сухом откосе низовой по рельефу ограждающей дамбы запасной емкости на расстоянии $10 \dots 15$ м от уреза воды устраивают придамбовый дренаж-водозабор.

В открытой траншее, дно которой на $1 \dots 1,5$ м ниже дна секции запасной емкости, укладывают перфорированные трубы $D = 150$ мм (асбестоцементные, пластмассовые, керамические) или трубофильтры. Фильтрующую обсыпку дренажа при укладке труб выполняют вначале из гранул крупностью $8 \dots 32$ мм, затем песка — $0,25 \dots 2$ мм с коэффициентом неоднородности ≤ 10 . Обсыпку над трубопроводом выполняют на высоту $0,5 \dots 0,6$ м, а по откосу траншеи, обращенному к урезу воды в секции, на высоту на 1 м ниже последнего. Трубофильтры обсыпают только песчаной фильтрующей засыпкой, аналогичной варианту с перфорированными трубами. Придамбовый дренаж-водозабор укладывают с уклоном $0,003 \dots 0,005$ в сторону камеры управления.

Работу придамбового дренажа-водозабора регулируют задвижкой, устанавливаемой в камере управления. Задвижка на трубопроводе должна быть всегда полностью открыта, чтобы в дренаже-водозаборе не создавался подпор воды. Это позволяет рациональнее использовать инфильтрационные воды, получаемые подрусловым дренажом-водозабором. При работе придамбового дренажа-водозабора необходимо строго следить, чтобы не было суффозии грунта. При ее обнаружении надо немедленно прикрывать задвижку на трубопроводе, отводящем воду из дренажа. Для каптирования инфильтрационных вод, образовавшихся на площадке запасной емкости, в дамбах секций при коэффициенте фильтрации суглинков $\geq 0,3$ м/сут можно устраивать шахтные колодцы.

Приток воды к несовершенным и совершенным шахтным колодцам из безяпорного пласта при ее поступле-

нии через дно и стенки определяют по формуле С.К. Абрамова и Е.А. Замарина [1]. Шахтные колодцы целесообразно устраивать машинами КШК-25 или КШК-30 по типовым проектам аналогично шахтным колодцам в суглинистых грунтах. Стенки крепят сборными железобетонными кольцами $D = 1$ м. Нижнюю часть шахтного колодца высотой 2...3 м выполняют водоприемной (из пористого бетона или других материалов). Дно колодца делают из обратного песчано-гравийного фильтра толщиной 300...400 мм (песок диаметром 0,3...2 мм, гравий — 8...32 мм). Вокруг верхней части колодца обязателен глиняный экран на глубину 1,5 м от поверхности земли шириной по низу не менее 0,5 м и отмостка (каменную, бетонную, асфальтовую) с уклоном 0,05...0,1 от колодца. Шахтные колодцы оборудуют герметическими люками с крышками, запорным устройством и вентиляционными трубами $D = 100...150$ мм. Для увеличения производительности шахтных колодцев устраивают горизонтальные водозахватные лучи.

При небольших потребностях воды (до $100 \text{ м}^3/\text{сут}$) для забора искусственно созданных инфильтрационных вод применяют буровые колодцы. Для увеличения их дебита можно устраивать открытым способом горизонтальные водозахватные лучи длиной 4...20 м. Буровые колодцы делают диаметром 300...400 мм, глубиной 5...10 м. В колодце устанавливают эксплуатационную трубу диаметром 50...100 мм для размещения погружных насосов или всасывающих труб насосов других типов. Незначительная глубина буровых колодцев позволяет устраивать фильтр двухслойным — из песка и гравия, засыпаемых сверху в затрубное пространство. Окончив бурение скважины, в нее опускают перфорированную эксплуатационную колонну диаметром 50...100 мм с направляющими фонарями. Перфорацию трубы выполняют на высоту 3...5 м с отверстиями диаметром 10...15 мм через 100...200 мм в 4—6 рядов вдоль образующей трубы. Затем опускают вспомогательную трубу диаметром 200...250 мм, центрируются и по затрубному пространству (между эксплуатационной и вспомогательной трубами) засыпают гравий диаметром

8...32 мм, чтобы верх этой засыпки был на 1...2 м выше перфорации. Далее в пространство между стенками скважин и вспомогательной трубы засыпают песок крупностью 0,3...2 мм высотой 4...6 м. После этого вспомогательную трубу поднимают и сверху в пространство между стенками колодца и эксплуатационной колонны засыпают слой песка толщиной 0,5 м. Для защиты инфильтрационных вод от загрязнения в оставшуюся часть бурового колодца засыпают суглинистый грунт и трамбуют.

Вместо песчано-гравийной засыпки применяют фильтры других типов: клееные гравийные, из пористого бетона, керамзита, керамики или пластических масс в зависимости от местных гидрогеологических условий и наличия вышеуказанных фильтров или материалов. Производительность горизонтального водосбора

$$Q_{г.в} = \alpha k_{\phi} \frac{H_в - (H_о + h_з)}{A}, \quad (13.3)$$

где $\alpha = 0,75$ — коэффициент снижения производительности вследствие кольматации загрузки между ее перемывом; l — длина подрусового водозабора, м; $k_{\phi} = 0,35...1$ — коэффициент фильтрации песчано-гравийной загрузки, м/сут; $H_в$ и $H_о$ — соответственно располагаемый напор воды над водосборной трубой и напор воды в ней, м; $h_з$ — глубина заложения водосборной трубы, считая от дна запасной емкости, м;

$$A = 0,371 \lg \left[\operatorname{tg} \left(\frac{\pi 4 h_з - d}{8 \Delta h_c} \right) \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi d}{8 \Delta h_c} \right) \right], \quad (13.4)$$

где Δh_c — расстояние от дна емкости до водоупора, м; d — диаметр водосборной трубы.

13.4. Лучевые подрусовые водозаборы

Применение лучевых водозаборных сооружений рационально при захвате воды из маломощных водоносных горизонтов и инфильтрационных подрусовых вод, когда трубчатые и шахтные колодцы становятся малопродуктивными. Конструктивно лучевой водозабор (рис. 13.5)

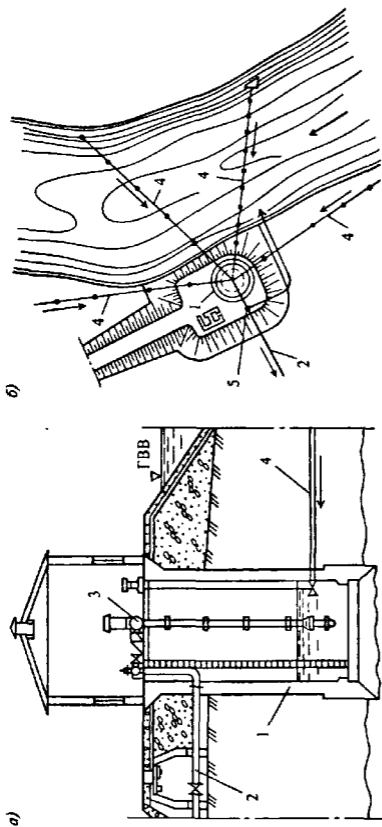


Рис. 13.5. Лучевой водозаборный узел, расположенный на берегу реки:

а) — разрез; б) — план; 1 — водозаборная шахта; 2 — напорный водовод; 3 — вертикальный водовод; 4 — горизонтальные лучи; 5 — колодец

представляет собой водосборную шахту 1, в нижней части которой смонтированы в радиальном направлении горизонтальные или под некоторым углом фильтрующие трубы-лучи 4. Последние сооружают в водоносном горизонте таким образом, чтобы обеспечить оптимальный водоприем каждым из лучей за счет разности гидростатического напора воды в пласте и динамического уровня воды в шахте, образующейся при работе откачивающих насосов 3. Обычно диаметр горизонтальных пробуренных лучей составляет 50...250 мм, а длина в зависимости от характера водоносного пласта и мощности оборудования для горизонтального бурения достигает 5...80 м [2. 9]. При расположении днищ шахт непосредственно в водовмещающих породах водозабор осуществляют одновременно как через дырчатые, перекрытые проволочным или сетчатым фильтром трубы, так и через дырчатое дно шахты, оборудованное обратным гравийно-щебеночным фильтром. Благодаря этому один луч водозабора с шахтой $D = 1,2...3,3$ м может обеспечить отбор подрусловой воды до 5...6 тыс. м³/сут.

Особым преимуществом лучевых водозаборов перед вертикальными скважинами и колодцами является их эффективная работа в условиях неоднородной проницаемости грунтов, малых коэффициентов фильтрации и малой мощности водоносных пластов (до 2...3 м). Лучевые водозаборы разделяются на подрусовые, береговые, берего-русловые и междуречные (рис. 13.6). По отношению к месту размещения лучей относительно водозаборной шахты они могут быть с веероподобным и звездочным расположением. При возможности забора воды одновременно из нескольких вертикально расположенных водоносных горизонтов устраивают двух- и даже трехъярусные водозаборы с общей водосборной шахтой. Обычно крупные лучевые водозаборы для централизованного водоснабжения строят с водосборной шахтой диаметром 3...6 м (иногда до 10...12 м), фильтры-лучи имеют диаметр до 50...250 мм и длину — до 80 м. Сооружают их продавливанием горизонтальных труб из шахты гидравлическими домкратами, до-

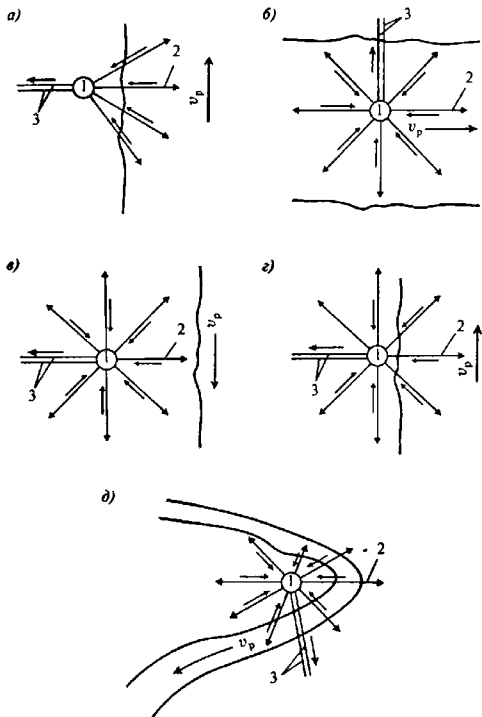


Рис. 13.6. Размещение лучевых водозаборов:

a), б) – подрусовые; *в)* – береговые; *г)* – берего-русловые; *д)* – междуречные; 1 – водозаборная шахта; 2 – горизонтальные лучефильтры; 3 – напорные водоводы

полненными насосами откачки и электрооборудованием для управления процессом бурения.

Малые лучевые водозаборы имеют диаметр шахт до 2...2,5 м и лучи-фильтры с диаметром 120...142 мм длиной до 6...8 м. Глубину залегания фильтров-лучей назначают в зависимости от качества воды, профильтрованной из водооточков. Такие водозаборы оборудуют контрольными приборами и аппаратурой для слежения за давлением воды в водоносном пласте и уровнем воды в шахте для оперативного отбора проб воды на анализ.

На рис. 13.7...13.9 показаны наиболее характерные конструктивные решения лучевых водозаборов крупных объектов водоснабжения. Широко распространены методы сооружения лучевых водозаборов Л. Ранняя, Г. Фельдмана, фирмы «Пройсет». По методу Л. Ранняя горизонтальные лучи-трубы продавливают из водосборной шахты в пласт специальными гидравлическими домкратами сек-

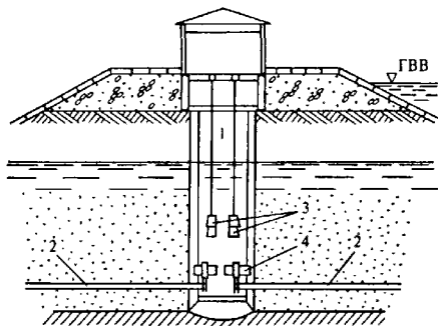


Рис. 13.7. Водозаборная шахта, совмещенная с насосной станцией:

1 — шахта; 2 — горизонтальные лучи; 3 — насосы; 4 — перекрытие, разделяющее шахту на две части

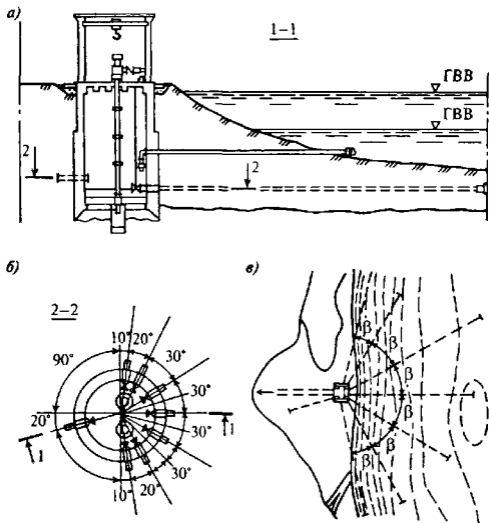
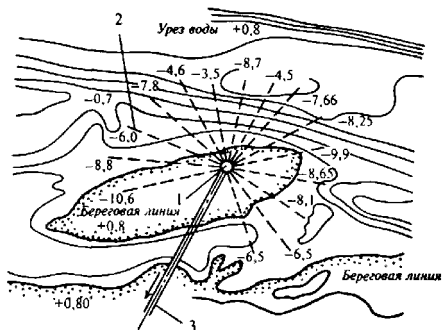


Рис 13.8. Лучевой береговой водозаборный узел:

а) — разрез по 1-1; б) — план по 2-2; в) — план размещения на местности

циями стальной перфорированной трубы с буровой головкой. Его используют в гравелистых и песчано-гравелистых грунтах с $d_{50} > 3$ мм. По методу Г. Фельдмана сначала из шахты в водоносный пласт продавливают толстостенную глухую стальную трубу, после чего в нее вводят позвенно перфорированную тонкостенную трубу с водоприемной фильтрующей поверхностью. После монтажа трубы-луча глухую обсадную трубу позвенно извлекают обратно в ствол шахты и используют повторно для соору-

а)



б)

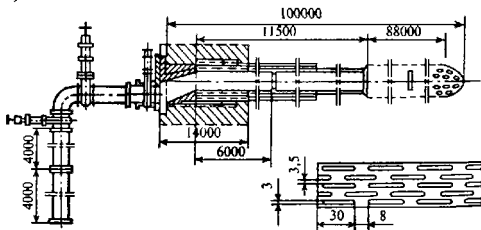


Рис. 13.9. Лучевой водозабор на р. Висла:

а) – план размещения на островном участке; б) – конструкция горизонтального трубчатого луча-фильтра; 1 – шахта; 2 – горизонтальные лучи; 3 – напорный водовод

жения новых лучей. Такой метод позволяет, в отличие от метода Л. Раннея, изучить в процессе продавливания глухой обсадной трубы состав водоносных пород и их границы, что, в свою очередь, позволяет оптимально запроектировать скважность фильтра-луча, достигающую 30%. Этот метод дает возможность оборудовать дырчатые тонкостенные трубы гравийно-обсыпным, а не только сетчатым или проволочным фильтром.

Метод фирмы «Пройсет» отличается от метода Г. Фельдмана лишь условиями формирования гравийно-обсыпного фильтра (по типу каркасно-засыпного). Помимо основного типа лучевых водозаборных сооружений (рис. 13.10 а), если водоносный пласт имеет большую мощность и залегает на относительно небольшой глубине, рациональными могут оказаться водозаборы с нисходящими лучами (рис. 13.10 в). В этом случае водосборную шахту заменяют на форшахту (оголовок, прямок) небольшой глубины (до 2...5 м), из которой под углом (определяется гидрогеологией) бурят нисходящие скважины. При хорошем гидростатическом напоре воды в проходимых водоносных пластах дно шахты-прямки, в котором размещены насосы, может располагаться и выше статического уровня воды в скважине. Если на пути нисходящего луча встречаются водонепроницаемые участки, их проходят глухими звеньями стальных неперфорированных и не оснащенных фильтрами труб. При сооружении лучевых водозаборов с нисходящими лучами облегчается и удешевляется производство работ, появляется возможность создания более надежных в эксплуатации гравийно-обсыпных фильтров лучей. Возможна замена обычной гравийной обсыпки на плавающую из полувспененных гранул полистирола [10], что значительно упрощает оборудование прифилтровой зоны лучей.

Водозаборы с восходящими лучами сооружают, как и основные, с центральной шахтой-стволом, из которой ведут снизу вверх наклонное бурение. В обсадные трубы фильтрующие колонны опускают с поверхности земли. Оттуда же производят в случае необходимости гравийную обсыпку дырчатых водоприемных труб (рис. 13.10 б).

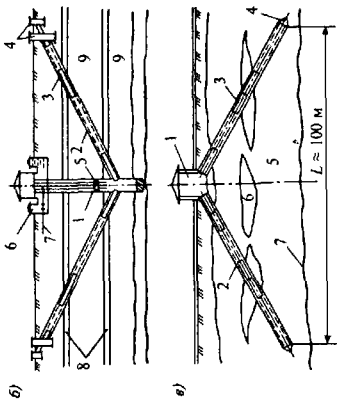
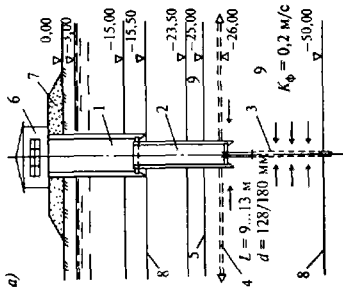


Рис. 13.10. Малые лучевые водозаборы:

а) — с вертикальной скважиной и горизонтальными лучами: 1, 2 — верхняя и нижняя водозаборные шахты; 3 — скважина; 4 — горизонтальные лучи-фильтры нижнего яруса; 5 — проектная ось лучей первого яруса; 6 — наземный павильон; 7 — обсыпка; 8 — водоупоры; 9 — водоносный пласт; б) — с восходящими лучами: 1 — шахта; 2 — восходящие лучи-фильтры, введенные в обсадные трубы; 3 — глухие участки труб; 4 — камера переключения; 5 — водонепроницаемые колодцы; 6 — вертикальные насосы; 7 — напорный водовод; 8 — водонепроницаемые грунты; 9 — водоносные пласты; в) — с нисходящими лучами: 1 — форшахта малой глубины; 2 — нисходящие лучи-фильтры; 3 — глухие участки лучей у водонепроницаемых линз; 4 — буровая головка; 5 — водоносный грунт; 6 — водонепроницаемые линзы; 7 — водоупор



Основным преимуществом применения лучевых водозаборов для захвата инфильтрационных вод является меньшая стоимость их строительства при большей производительности по сравнению с вертикальными скважинами, а также возможность забора подрусловых вод малых рек при их обмелении. В результате фильтрации через пласты водоносной породы происходит глубокое осветление речных вод и снижение в них бактериальных загрязнений. Немаловажную роль играет то, что отсутствует необходимость в рыбозащите, борьбе с шугой и донным льдом, загрязнением русловых оголовков и береговых колодцев водозаборов [11]. В отличие от скважин лучевые водозаборы резко сокращают потребность в артезианских насосах. Упрощается организация, снижаются затраты на производство работ и эксплуатацию в результате сокращения зон санитарной охраны, исключения сборных нагнетательных и сифонных водоводов, сборного резервуара и насосной станции второго подъема по сравнению с инфильтрационными водозаборами с помощью скважин. К основным недостаткам лучевых водозаборов относятся сложность и большая трудоемкость сооружения фильтров-лучей, необходимость обширных гидрогеологических обоснований.

Производительность лучевых инфильтрационных водозаборов зависит от коэффициента фильтрации, мощности и зоны питания водоносного пласта, места расположения водозабора в водозахватной подрусловой зоне, достаточной обоснованности принятых при расчетах эмпирических коэффициентов, учета гидравлических закономерностей работы фильтровальных лучей. Проектированию таких водозаборов должны обязательно предшествовать изучение гидрологического режима водотоков, питающих подрусловые водоносные породы, влияния качества речной воды на фильтрующие характеристики ложа и боковых поверхностей водотока, а также оценка санитарного состояния территории будущих зон санитарной охраны водозабора. Основы фильтрационных расчетов лучевых водозаборов различных типов разработаны Г.А. Разумовым [28].

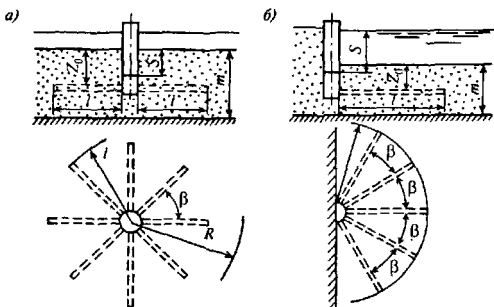


Рис. 13.11 Расчетные схемы лучевого водозабора, размещенного на берегу реки:

а) — с лучами, заложенными на берегу реки; б) — с лучами под дном реки

При одностороннем подрусловом размещении горизонтальных лучей (рис. 13.11 а) по отношению к реке на ее берегу производительность водозабора может быть определена по формулам

$$Q = \frac{2\pi k_f l S}{\ln U_1 \frac{l-1}{2} \ln U_\beta} r_c, \quad (13.5)$$

где

$$U_1 = \frac{3mz_0 l}{z_0(m-z_0)(l + \sqrt{l^2 + 16m^2})}, \quad (13.6)$$

$$U_\beta = 1 + \frac{16m^2}{l^2 \sin^2 \beta}. \quad (13.7)$$

где k_f — коэффициент фильтрации заиленного верхнего слоя водоносного пласта; r_c — радиус фильтрации скважины; S — понижение

уровня воды; m — мощность водоносного пласта; z_0 — расстояние от верха водоносного пласта до оси расположения горизонтального луча; β , l — угол размещения между лучами и длина луча.

В случае размещения горизонтальных лучей под руслом реки или на некотором расстоянии от берега (рис. 13.11 б), производительность водозабора, состоящего из n горизонтальных скважин длиной l может быть определена по формулам

$$Q = \alpha \frac{2\pi k S l}{F(U_\pi)} \delta i, \quad (13.8)$$

где

$$F(U_\pi) = \ln \left[\frac{0,74l}{r_c} \sqrt{\frac{2R-l}{2R+l}} \right] + 2\mu \ln V_\pi, \quad (13.9)$$

$$U_\pi = \frac{l + \sqrt{l^2 + 4m^2}}{2m} \sqrt{\frac{2R-l}{2R+l}}, \quad (13.10)$$

где R — радиус влияния водозабора (двойное расстояние шахты от водозаборной скважины до уреза воды в водотоке).

Коэффициент δ предусматривает снижение производительности горизонтального луча в зависимости от его смещения по высоте водоносного пласта относительно его середины

$$\alpha = f\left(\frac{z_0}{m}\right). \quad (13.11)$$

Коэффициент δ учитывает снижение производительности водозабора из-за взаимовлияния горизонтальных скважин-лучей. Значения этих коэффициентов определяют по экспериментальным графикам для различного числа лучей в одном водозаборе и соотношения l/m [20, 28].

Коэффициент m зависит от соотношения радиуса влияния, соотношения длины луча и мощности водоносного пласта

$$\mu = f\left(\frac{R}{2m}, \frac{l}{m}\right). \quad (13.12)$$

Для комбинированных лучевых водозаборов с подрусовыми и береговыми горизонтальными скважинами-лучами производительность водозабора определяют суммированием двух его составляющих [1, 2, 28].

$$Q = 2\pi r S \left[\frac{l_p n_p}{\ln U_1 \frac{n-1}{2} \ln U_\beta} + \alpha \frac{l_b n_b}{F(U_\pi)} \delta_6 \right], \quad (13.13)$$

где l_p, l_b — соответственно длина русловых и береговых лучей; n_p, n_b — число русловых и береговых лучей; δ — коэффициент, учитывающий взаимовлияние фильтров-лучей.

Результаты расчетов по (13.8)...(13.13) носят приближенный характер и всегда уточняются в процессе опытных откачек и пусконаладочных работ. Потери напора в фильтрующих элементах лучей и по длине транспортирующих труб определяют по известным гидравлическим зависимостям. Так, для перфорированных труб лучей-фильтров в напорном пласте при наличии глухих и перфорированных участков потери напора могут быть вычислены по формуле

$$h_\omega = \left(1 + \lambda \frac{l_n}{6r} \right) \frac{v_c^2}{2g}, \quad (13.14)$$

где λ — коэффициент гидравлического сопротивления для перфорированных стальных труб (при $D_n = 100...250$ мм, $\lambda \approx 0,08...0,1$); l_n — длина перфорированной части трубы; r — внутренний радиус трубы; $v_c = 1/2 v_k$ — средняя скорость движения воды в трубе, принимаемая равной половине скорости движения воды на выходе из луча, м/с.

Из других методов расчета лучевых водозаборов следует отметить методы В.М. Григорьева, В.С. Усенко, С.Ф. Соломенника, В.В. Земляного и др. [1, 2, 20, 22, 28].

Эффективность очистки воды фильтрацией из русла реки к фильтрам-лучам определяется, в первую очередь, гранулометрическим составом водоносных фильтрующих пород, толщиной фильтрующего слоя (длиной пути движения воды от русла или береговых откосов до труб-лучей), качеством воды в источниках и фильтрационными

свойствами илистой пленки на границе дна водотока и пород ложа днища и откосов водоемов. Поскольку речь идет лишь о безреагентной очистке, то перспективная эффективность ее может быть в первом приближении оценена по аналогии с эффективностью очистки на медленных фильтрах, но с учетом санитарно-бактериального состояния водотоков или водоемов. Фильтрующие же элементы самих лучей, принимая во внимание свойства сетчатых, шелевых и гравийно-обсыпных фильтрующих элементов, имеют практически единственное назначение — не допустить попадания в водоприемную шахту и внутрь лучей частиц водоносной породы. Вопросы регенерации водоприемных поверхностей лучей-фильтров, в принципе, можно решать аналогично регенерации водозаборных скважин [1, 2], хотя в данном случае технология усложняется из-за трудностей удаления из водоносных пород продуктов регенерации.

13.5. Инфильтрационные и запасные сооружения в системах сельскохозяйственного водоснабжения

В некоторых безводных районах основным и в большинстве случаев единственным источником централизованного и локального водоснабжения служат обводнительно-оросительные каналы (Ставропольский и Краснодарский края). В зимнее время они не работают, поэтому бесперебойное водоснабжение населенных пунктов сельских и сельскохозяйственных комплексов решают в этих случаях сооружением достаточно больших по объему запасных емкостей для хранения воды на зимние периоды года. Качество воды в обводнительно-оросительных каналах не соответствует СанПиН 2.1.4.1074-01 для небольших сельскохозяйственных водопроводов (с производительностью от сотен м³/сут до 1...10 тыс. м³/сут), а строительство традиционных очистных сооружений для подготовки питьевой воды весьма дорого, к тому же требует квалифи-

цированного обслуживающего персонала. Применение альтернативных методов улучшения качества воды с помощью инфильтрационных сооружений позволяет до 20...40 % сократить затраты на строительство систем водоснабжения [16...28].

В зависимости от планового и высотного взаиморасположения подводящего канала и инфильтрационных запасных емкостей-водоемов система водоснабжения последних может быть самотечной или напорной. Сооружения для создания инфильтрационных вод в зоне обводнительно-оросительных каналов периодического действия в зависимости от типа и производительности имеют различную строительную стоимость и технико-экономические показатели.

Наиболее экономичными сооружениями для создания инфильтрационных вод при использовании в качестве источника водоснабжения поверхностных вод обводнительно-оросительных каналов периодического действия при производительности 50...1000 м³/сут являются подрусло-вые дренажи-водозаборы с горизонтальными придамбовыми дренажами-водозаборами при условии, что вблизи нет хорошо фильтрующих грунтов, залегающих на небольшой глубине от поверхности земли (2...4 м). При близком залегании от поверхности земли хорошо фильтрующих грунтов: супеси, песка, гравия—целесообразно применение инфильтрационных бассейнов, площадок, траншей. При суточной потребности в воде 50...300 м³ целесообразно использование шахтных, буровых колодцев с водозахватными лучами. Эти сооружения весьма индустриальны, а высокая степень механизации работ позволяет значительно сократить сроки их строительства по сравнению с другими типами инфильтрационных сооружений. При производительности до 100...200 м³/сут целесообразно применение шахтных и буровых колодцев.

При расходе воды до 50 м³/сут для забора инфильтрационных вод целесообразно применять буровые колодцы, строительство которых требует значительно меньше времени и средств, чем шахтных колодцев. Если необходимы значительные количества воды (2 тыс. м³/сут и более), то

для очистки поверхностных вод обводнительно-оросительных каналов периодического действия применяют медленные фильтры. В качестве дополнительных сооружений, каптирующих инфильтрационные воды, которые создаются на площадке секций запасных емкостей, целесообразно использовать подрусловой и придамбовый дренажи-водозаборы. В зависимости от глубины воды в секциях запасной емкости и коэффициента фильтрации грунтов, в которых выполнена емкость, 1 п. м этих сооружений может давать от 0,5 до 3 м³/сут доброкачественной воды.

Применение инфильтрационных сооружений позволяет пустить водопровод в работу до ввода в эксплуатацию медленных фильтров, строительство которых является достаточно длительным и трудоемким процессом. Для пуска водопровода во временную эксплуатацию с инфильтрационными сооружениями необходимо построить хлораторную, водовод, часть разводящих сетей и водозаборных колонок. Такое решение целесообразно и экономически себя оправдывает, так как уже во время строительства водопровод начинает давать прибыль.

Литература к гл. 13

1. **Абрамов С.К., Алексеев В.С.**, Забор воды из подземных источников. — М.: Колос, 1980.
2. **Анатольевский П.А., Галыжрин Л.В.** Водозаборы подземных вод. — М.: Стройиздат, 1965.
3. **Бондарь Ф.И., Ереслов Н.В. и др.** Специальные водозаборные сооружения. — М.: Госстройиздат, 1963.
4. **Берданов В.М., Боголюбов К.С., Моложавая Е.И. и др.** Искусственное пополнение подземных вод в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. — М.: Стройиздат, 1978.
5. **Бурчак Т.В.** Искусственное пополнение подземных вод. Расчет бассейнов и их систем. — Киев: Будівельник, 1986.
6. **Булава М.Н., Кудин С.М.** Водоснабжение и гидротехнические сооружения (на укр. языке). — Киев: Высш. шк., 1974.

7. Knoppet P.L. An overview of European Water Treatment Practice. JAWWA, v.72, N72, Nil, 592-599, (1980).
8. Heiker E. The Mulheim Process for Treating Ruhr River Water. JAWWA, v.71, Nil, 623-627, (1979).
9. Sontheimer H. Applying Oxidation and Adsorption Technologies. A Summary of progress. JAWWA, v.71, Nil, 612-617, (1979).
10. Sontheimer H. The European Experience. Design Criteria and Process Schemes for G.A.C. Filters. JAWWA, v.71, Nil, 618-622, (1979).
11. Shelekamp M. The of G.A.C. Filtration to Ensure Quality in Drinking Water From Surface Sources. JAWWA, v.71, Nil, 638-647, (1979).
12. Bablon G.P. Developing a Sand-G.A.C. Filter to Achieve High-Rate Biological Filtration. JAWWA, v.80, N12, 47-53, (1988).
13. Servais P. Microbial Activity in G.A.C. Filters at The Choisy-Leroi Treatment Plant. JAWWA, v.83, N2, 63-68, (1991).
14. Макаренко Л.Н. Создание и использование инфильтрационных вод для сельскохозяйственного водоснабжения. Методические рекомендации. — Ставрополь, 1973.
15. Порядин А.Ф. Устройство и эксплуатация водозаборов. — М.: Стройиздат, 1984.
16. Сурип А.А. Водоснабжение. — Ч. I Вода и водосборные сооружения. — М.; Л.: ОНТИ, 1932.
17. Орлов Г.А., Шевелев Ф.А. Водоснабжение больших городов зарубежных стран. — М.: Стройиздат, 1987.
18. Журба М.Г. Сельскохозяйственное водоснабжение. — Universitat, Кишинев, 1991.
19. Порядин А.Ф. Водозаборы в системах централизованного водоснабжения. — М.: — Изд. НУМЦ Госкомэкологии России. — М.: 1999.
20. Усенко В.С. Искусственное восполнение и инфильтрационные водозаборы подземных вод. — Минск: Наука и техника, 1972.
21. Турутин Б.Ф. Подрусловые инфильтрационные сооружения при кольматации. — Красноярск: Изд-во КГУ, 1987.
22. Соломенник С.Ф. Особенности работы и расчет подрусловых водозаборов в суровых природно-климатических условиях / Дис. ... канд. техн. наук. — Л., 1989.
23. Вловин Ю.И. Водоснабжение на Севере. — Л.: Стройиздат, 1987.
24. Хазиков Н.Г. Инфильтрационный водозабор в суровых климатических условиях // Сб. тр. / ЛИСИ. — Л., 1968. — Водоснабжение и канализация в Восточной Сибири и Крайнем Севере.
25. Калабин А.И. Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР // Тр. / ВНИИ-1. — Магадан, 1960. — Вып. 18.

26. Турутин Б.Ф., Матюшенко А.И., Лелеков Т.И. Термика инфильтрационных сооружений. – Красноярск: Изд. КГТУ, 2000.
27. Матюшенко А.И. Теплофизические особенности и повышение эффективности водозаборов инфильтрационного типа в условиях Сибири и Крайнего Севера / Дис. ... д-ра техн. наук. – Красноярск, 2000.
28. Разумов Г.А. Проектирование и строительство горизонтальных водозаборов и дренажей. – М.: Стройиздат, 1988.

ОБ АВТОРАХ



Михаил Григорьевич ЖУРБА – доктор технических наук, профессор, академик Академии водохозяйственных наук и Академии жилищно-коммунального хозяйства, заведующий лабораторией очистки природных вод и инженерных сооружений водоподготовки ГНЦ НИИ ВОДГЕО, эксперт Федерального реестра в научно-технической сфере РФ. Ведущий специалист России по водоснабжению, водоотведению, охране и рациональному использованию водных ресурсов.

В последние годы специализируется в области очистки природных вод в условиях повышенных антропогенных нагрузок и водоочистки; фильтрования природных и сточных вод через зернистые загрузки, водозаборно-очистных технологий. Его разработки внедрены более чем на 75 объектах Российской Федерации, Украины, Белоруссии, Молдовы.

Автор 65 изобретений, 13 монографий, свыше 280 научных статей. Совмещает научную работу с педагогической деятельностью в различных вузах страны. Под его научным руководством подготовлено и защищено 2 докторских и 15 кандидатских диссертаций по водоснабжению.



Юрий Иосифович ВДОВИН – доктор технических наук, профессор, академик Международной Академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, академик Академии водохозяйственных наук РФ, профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности» Пензенского государственного университета. Является одним из ведущих специалистов России по гидротехническому строительству, водоснабжению и водоотведению в экстремальных природно-климатических и техногенных условиях.

Специализируется в областях бесплотинного фильтрующего водоприема, водозаборно-очистных сооружений, совершенствования рыбозащитных устройств на водозаборах. Под его научным руководством и при непосредственном участии были запроектированы и построены гидротехнические и водозаборно-очистные сооружения, системы дренажа, водообеспечения и водоотведения более чем на 70 промышленных объектах Севера, Красноярского края, Поволжья, Казахстана и Украины. Последние 15 лет со своими коллегами и учениками решает так же проблемы урбозкологии, экологического оздоровления объектов гидросферы.

Ю.И. Вдовин является автором 23 изобретений и более 250 научных работ, включая 5 монографий.

Жанна Михайловна ГОВОРОВА — канд. техн. наук, с.н.с. ГНЦ НИИ ВОДГЕО. Специализируется в области очистки природных вод, содержащих антропогенные примеси. Автор 42 опубликованных работ по водоснабжению и рациональному использованию водных ресурсов, включая 4 книги и 7 патентов на изобретение. Совмещает научную работу с подготовкой инженерных кадров по специальности «водоснабжение и водоотведение».

* * *

Игорь Александрович ЛУШКИН — канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры водоснабжения и водоотведения Пензенского государственного университета. Специализируется в области водозаборно-очистных сооружений фильтрующего типа. Автор 12 научных работ, опубликованных в печати по тематике «водоснабжение и водоотведение».

Учебное издание

**Журба Михаил Григорьевич
Вдовин Юрий Иосифович
Горова Жанна Михайловна
Лупкин Игорь Александрович**

**ВОДОЗАБОРНО-ОЧИСТНЫЕ
СООРУЖЕНИЯ И УСТРОЙСТВА**

Учебное пособие

Зав. редакцией *Т.М. Минеджян*
Художественный редактор *Л.Л. Сильянова*
Технический редактор *Т.П. Тимошина*
Корректор *И.Н. Мокина*
Компьютерная верстка *С.А. Соколова*

ООО «Издательство Астрель»
143900, Московская обл.,
г. Балашиха, пр. Ленина, 81

ООО «Издательство АСТ»
368560, Республика Дагестан, Каякентский р-н,
с. Новокаякент, ул. Новая, д. 20

Наши электронные адреса: www.ast.ru
E-mail: astrpub@aha.ru

При участии ООО «Харвест». Лицензия ЛВ № 32 от 27.08.02.
РБ, 220013, Минск, ул. Кульман, д. 1, корп. 3, эт. 4, к. 42.

Республиканское унитарное предприятие
«Издательство «Белорусский Дом печати».
220013, Минск, пр. Ф. Скорны, 79.