

6  
А-60  
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ им. В. В. КУЙБЫШЕВА

---

*На правах рукописи*

Аспирант Брынько Ю. В.

**Исследование закономерностей осветления  
биологически очищенных сточных вод  
на скорых песчаных фильтрах**

(диссертация на русском языке)

**05.483. Водоснабжение и канализация**

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Москва — 1971

60

Государственная Библиотека  
им. Салтыкова-Щедрина

Московский инженерно-строительный институт имени В. В. Куйбышева направляет Вам для ознакомления автореферат диссертации аспиранта **Брынько Ю. В.**

Диссертационная работа выполнена в Московском ордена Трудового Красного знамени инженерно-строительном институте имени В. В. Куйбышева.

Научный руководитель — кандидат технических наук доцент **В. И. Малов.**

Официальные оппоненты: доктор технических наук профессор **Д. М. Минц**, кандидат технических наук доцент **В. И. Калицун.**

Ведущее предприятие — «Мосводоканалпроект».

Защита состоится «...» *6 января* 1972 года на заседании Совета по присуждению ученых степеней факультета водоснабжения и канализации МИСИ имени В. В. Куйбышева (Москва, Шлюзовая наб., д. 8).

Ваш отзыв по автореферату прошу прислать в 2-х экземплярах по адресу: 113114 Москва, М-114, Шлюзовая наб., д. 8, Ученый Совет МИСИ им. В. В. Куйбышева.

Автореферат разослан *1 декабря* 1971 г. № *4258*

Ученый секретарь Совета МИСИ  
доцент кандидат технических наук

**В. П. Сеницын**

Бурный рост населения, сельского хозяйства, промышленности с ее большой концентрацией и внедрением новой техники повлек за собой значительное загрязнение природных источников, а также истощение водных ресурсов. Это приводит к тому, что мощность естественных водоисточников во многих районах оказывается недостаточной и потребность населения и промышленности в доброкачественной воде стала первоочередной задачей. Такая же задача ставится для защиты природных вод от загрязнений путем сокращения сброса сточных вод в водоемы.

В последнее время начинает широко применяться доочистка хозяйственно-бытовых сточных вод. Последующее их использование для промышленных и хозяйственных нужд может явиться одним из способов комплексного решения указанных выше задач. Среди различных способов доочистки фильтрование через зернистые материалы получило наибольшее распространение как самостоятельный метод, так и элемент схем доочистки. Это объясняется простотой устройства и надежностью работы фильтров, а также значимостью, которую имеет фильтрование в технологии обработки воды. Однако, несмотря на широкое применение фильтров в практике доочистки сточных вод, неизученными остаются вопросы песчаных фильтров, обусловленные специфическими свойствами взвешенной фазы. Это в некоторой степени снижает эффект применения скорых фильтров, проектирование которых в настоящее время ведется на основе рекомендаций для водопроводных фильтров.

*работы*

Целью настоящей работы являлась разработка методики расчета скорых песчаных фильтров для доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод. В связи с чем было необходимо:

1. Изучить физическую картину фильтрования сточных вод через песчаную загрузку и выявить основные факторы, влияющие на эффективность работы скорых фильтров.

2. Исследовать кинетику осветления и гидродинамику процесса фильтрования сточных вод для установления оптимальных параметров загрузки и скорости фильтрования.

3. Подтвердить возможность использования теории технологического моделирования Д. М. Минца для фильтров, работающих в режиме доочистки сточных вод, что позволило бы учитывать влияние физико-химических свойств воды и взвеси.

4. Установить оптимальный режим и способ промывки фильтрующей загрузки.

Диссертационная работа включает введение, шесть глав с иллюстрациями и таблицами, выводы.

В первой главе проведен критический обзор публикаций в отечественной и зарубежной литературе, а также анализ работы действующих сооружений доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод. Отмечается, что применение скорых песчаных фильтров для доочистки снижает содержание взвешенных веществ в биологически очищенной сточной воде на 60—95%, БПК — на 40—70%, бактериологические загрязнения — на 70—98%. Это дает возможность не только сбрасывать без ограничений доочищенные сточные воды в водоемы, но и позволяет использовать их в ряде отраслей промышленности и сельском хозяйстве.

Эффективность работы скорых фильтров в значительной мере зависит от степени очистки сточных вод на сооружениях биологической очистки. Однако, рекомендации для проектирования и эксплуатации скорых песчаных фильтров базируются на результатах практических наблюдений или экспериментальных исследований на конкретных очистных сооружениях без учета специфики свойств взвешенной фазы. Это привело к значительному противоречию значений параметров фильтров, рекомендуемых различными исследователями. Предлагаемая крупность загрузки находится в диапазоне от 0,6 до 10,0 мм, высота фильтрующего слоя от 0,3 до 1,2 м, скорость фильтрования от 2 до 14 м/час.

Специфические свойства взвеси в очищенных сточных водах так же определяют более сложные способы промывки, чем в обычных водопроводных фильтрах.

На основании анализа и критического обзора публикаций не представляется возможным рекомендовать оптимальные параметры для проектирования сооружений доочистки сточных вод и расчета технологических показателей скорых фильтров, что и определило задачи исследований.

Во второй главе представлены результаты исследования эффективности процесса доочистки сточных вод на фильтрах с песчаной загрузкой.

Исследования проводились на Люблинской станции аэрации. Экспериментальная установка состояла из трех моделей кварцевых фильтров диаметром 146 мм и высотой слоя фильтрующей загрузки 1020 мм. Размер зерен песчаной загрузки соответственно был равен: для первой колонны от 0,3 до 1,0 мм ( $d_{\text{экв}} = 0,652$  мм,  $K_H = \frac{d_{80}}{d_{10}} = 1,51$ );

для второй колонны от 0,85 до 1,5 мм ( $d_{\text{экв}} = 1,04$  мм,  $K_H = 1,17$ );

для третьей колонны от 1,2 до 2,4 мм ( $d_{\text{экв}} = 2,17$  мм,  $K_H = 1,5$ ). Поддерживающие слои отсутствовали.

По высоте колонн через 5—10 см были установлены патрубки для отбора воды и снятия показаний пьезометров.

Определение насыщенности порового пространства взвешенными веществами проводилось на пяти малых полиэтиленовых колоннах  $D = 36,2$  мм и высотой 1,0 м, которые работали в аналогичных гидродинамических условиях и имели такой же гранулометрический состав загрузки, что и колонны экспериментальной установки. По окончании опыта полиэтиленовые колонны разрезались на определенные части, песок отмывался дистиллированной водой. Взвесь отфильтровывалась на мембранных фильтрах, высушивалась и взвешивалась, согласно стандартной методике. Исследования процесса фильтрования проводились при различных скоростях от 6 до 20,8 м/час.

Взвешенные вещества в очищенных сточных водах представляют из себя субстанцию активного ила. Зольность взвеси по результатам исследований составляет 19—34%. Поэтому снижение в процессе фильтрования взвешенных веществ соответственно улучшает санитарно-биологические показатели качества сточных вод (табл. 1).

Содержание взвешенных веществ в фильтрате за время проведения эксперимента составляло в среднем 1—3 мг/л, в диапазоне предельных значений от 0 до 8 мг/л и зависело в значительной мере от концентрации взвешенных веществ в исходной воде, величина которой сильно колебалась в течение суток от 6 до 40 мг/л. Более высокий эффект задержания взвеси отмечался при более качественной обработке воды на сооружениях биологической очистки. Биологическая очистка сточной воды до значений: по взвешенным веществам 8—

11 мг/л, по БПК<sub>5</sub> — 8—9 мг/л и индексе ила 70—110 см<sup>3</sup>/г позволила получать воду на фильтрах практически нулевой мутности со средним эффектом осветления 92—98%. При этом увеличивалась в 1,2—1,5 раза продолжительность фильтроцикла.

Таблица 1

Показатели качества воды	Вода из вторичных отстойников мг/л	После фильтрования при V=12 м/час					
		I колонна		II колонна		III колонна	
		мг/л	эффект очистки %	мг/л	эффект очистки %	мг/л	эффект очистки %
Взвешенные вещества	12—18	1—3	80—95	1—4	78—95	1—4,5	75—95
БПК <sub>5</sub>	13,2	4,8	64	5,3	60	5,3	60
ХПК	137,5	88,2	36,0	86,0	37,2	75,7	45
Перманганатная окисляемость	32	23	28	25	22	24	25
pH	7,8	7,0	—	7,2	—	68	—
Азот общий	29,6	24,8	—	18,4	—	21,7	—
Нитриты	1,5	1,6	—	1,4	—	1,2	—
Нитраты	0,7	0,7	—	0,9	—	1,0	—
Хлориды	210	192	—	204	—	212	—

Установлено, что песчаные фильтры удовлетворительно работают при содержании взвешенных веществ в исходной воде не более 20 мг/л. В этом случае, даже при скоростях фильтрования 18—20 м/час, можно получить фильтрат с содержанием взвешенных веществ до 3 мг/л. Увеличение концентрации взвеси в исходной воде свыше 20 мг/л ведет к значительному увеличению содержания взвешенных веществ в фильтрате.

Выявленная нелинейная зависимость эффекта осветления сточных вод от концентрации взвеси в исходной воде обусловлена сложным характером процесса, задержания взвешенных веществ, частицы которых представляют полидисперсную структуру и обладают различными физико-химическими свойствами.

Взвесь в очищенных сточных водах можно разделить на:

- 1) активную фазу, состоящую в основном из хлопков активного ила и обладающую большой сорбционной способностью;

- 2) пассивную фазу, состоящую из минеральных частиц взвеси и отмерших клеток микроорганизмов.

Хлопки активного ила и сорбированные на нем органические загрязнения задерживаются в верхних слоях фильтра, в то время как компоненты пассивной фазы проскакивают в нижние, более глубокие слои, или же вообще не задерживаются зернистой загрузкой. При этом биохимические процессы окисления органических веществ, протекающие в фильтре, приводят к снижению свободного кислорода до 0,5—1,0 мг/л в пробах воды, взятых на 30 см ниже поверхности песчаной загрузки против 4—5 мг/л в исходной воде. Снижение БПК также, в основном, происходит в верхнем слое песка. Посев на питательной среде культуры микрофлоры отмытого осадка, взятого из верхнего 2 см слоя фильтра и с глубины 30 см, после 6 часов фильтрования показал, что при одинаковой весовой концентрации примесей количество микроорганизмов в верхнем слое в 12 раз больше, чем в пробе, взятой из глубинных слоев фильтра. Одновременно при этом зольность взвеси в фильтрате увеличивается в 3—4 раза, по сравнению с зольностью взвешенных веществ исходной воды, и составляет 75—85%.

Значительная сорбционная способность активного ила способствует преимущественному отложению взвешенных веществ в верхнем слое фильтра, что в конечном итоге приводит к образованию на поверхности фильтрующей загрузки слоя рыхлого осадка.

Вследствие этого ухудшения качества фильтрата не наблюдались до конца фильтроцикла, который был ограничен предельной потерей напора в фильтрующей загрузке. Данные о работе фильтра в режиме автоматичности позволили выявить зависимость эффекта очистки от концентрации взвешенных веществ в исходной воде, скорости фильтрования, крупности зерен загрузки, исключив влияние фактора времени.

Концентрация взвеси в исходной воде, обеспечивающая максимальный эффект осветления при всех исследованных скоростях от 6 до 20,8 м/час, находилась в пределах 10—15 мг/л. Этим условиям отвечало оптимальное соотношение между пассивной и активной фазой.

Применение мелких фракций песка существенно не улучшает качество воды, но приводит к значительному сокращению фильтроцикла, вследствие раннего образования осадка на поверхности зернистого слоя. Так, применение песка с  $d_{\text{экв}} = 0,652 \text{ мм}$  увеличивает эффект очистки предельно на 8% по сравнению с фильтром, загруженным песком, с  $d_{\text{экв}} = 2,17 \text{ мм}$ . Однако фильтроцикл вследствие этого сокращается в 2,5—3 раза.

Увеличение скорости фильтрования при постоянной концентрации твердой фазы в исходной воде приводит к более глубокому проносу взвеси в толщу загрузки фильтра. При этом количество примесей в отфильтрованной воде растет по экспоненциальной зависимости.

Зависимость качества фильтрата от содержания взвешенных веществ в исходной воде, скорости фильтрования и параметров песчаной загрузки при работе фильтров в автомобильной области с достаточной степенью точности описывается следующим выражением:

$$C = 0,456(1 + 0,065d_{\text{экв}})e^{(0,157 - \frac{V}{215})C_0} + 0,178 \cdot V, \quad (1)$$

где  $C$  — содержание взвеси в фильтрате,  $\text{мг/л}$ ;

$C_0$  — содержание взвеси в исходной воде,  $\text{мг/л}$ ;

$V$  — скорость фильтрация,  $\text{м/час}$ ;

$d_{\text{экв}}$  — эквивалентный диаметр зерен загрузки,  $\text{мм}$ .

В работе приводятся данные об эффективности работы фильтра с переменной скоростью. Резкое увеличение скорости приводит к срыву осадка, сорбированного на зернах загрузки и проносу его через толщу фильтра. Насыщенность порового пространства взвесью в момент изменения скорости также оказывает значительное влияние на количество взвеси в фильтрате.

Увеличение скорости на 1—2% в минуту незначительно ухудшает качество фильтрата, что позволяет рекомендовать к эксплуатации фильтры с переменной скоростью для доочистки сточных вод. Это исключает устройство аккумулирующих резервуаров после сооружений биологической очистки.

Третья глава посвящена исследованию кинетики осветления сточных вод на скорых песчаных фильтрах. Рассмотрена физическая картина процесса осветления сточных вод.

Установлено, что осветление очищенных сточных вод является сложным физико-химическим процессом, обусловленным совместным влиянием факторов: сорбционного взаимо-

действия биологических субстанций с поверхностью зернистой загрузки и механического отфильтровывания взвешенных частиц и агрегатов суспензии. Роль каждого из факторов в механизме задержания взвеси, определяемая гранулометрическим составом загрузки и скоростью фильтрования, предопределяет характер осветления сточных вод.

Обработка результатов экспериментальных данных позволила установить основные особенности процесса осветления сточных вод с образованием осадка на поверхности фильтрующего слоя. Образование осадка является следствием высокой сорбционной способности активного ила, приводящего в процессе фильтрования к сильной коагуляции верхнего слоя загрузки. Насыщенность порового пространства взвесью достигает 94—97%. Фильтрация сточной жидкости происходит при этом как по свободным поровым каналам, так и через поверхностный слой осадка, который задерживает к концу фильтроцикла 18—20% всех поступающих загрязнений.

Продолжительность работы фильтра в беспленочном режиме зависит, в основном, от крупности загрузки. Если в мелкозернистом песке образование слоя осадка наблюдается через 2—4 часа работы, то образование фильтрующей пленки фильтра с  $d_{\text{экв}} = 2,17 \text{ мм}$  происходит в течение 25—30 часов при скоростях фильтрования 10—12  $\text{м/час}$ . К концу фильтроцикла толщина слоя осадка увеличивается и достигает 4—7  $\text{мм}$ .

Наличие поверхностного слоя осадка существенно изменяет условие работы фильтрующего слоя, что приводит к качественному отличию кинетики процесса осветления верхним и глубинными слоями загрузки.

Рассмотрение физических основ теории фильтрования малоцентрированных суспензий позволило установить общность протекания процесса осветления природной и очищенной сточной воды толщей фильтрующей загрузки и применить теорию Д. М. Минца для обработки опытных данных. Для этого за исходную концентрацию взвеси в сточной воде было принято количество взвешенных веществ, выходящих из верхнего двухсантиметрового слоя, что исключало влияние поверхностного слоя осадка.

Установлено, что при изменении скорости фильтрования в диапазоне от 6 до 20,8  $\text{м/час}$  и размера зерен загрузки от 0,58 до 1,57  $\text{мм}$  параметры фильтрования определяются следующими выражениями:

$$a = a \frac{V^{0,8}}{d}, \quad (2)$$

$$b = \beta \frac{1}{\sqrt{0,516 \cdot d^{0,346}}} \quad (3)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  — коэффициенты, учитывающие физико-химические свойства воды и взвеси.

Сравнение теоретических и экспериментальных кривых для верхнего двухсантиметрового слоя показало, что верхний слой постоянно задерживает на 8—13% больше взвеси на протяжении всего фильтроцикла, чем это следует из теоретических расчетов, независимо от крупности зерен загрузки и скорости фильтрования.

Рекомендуется расчет параметров фильтрующей загрузки с использованием данных технологического моделирования проводить на слое толщиной не менее 20—25 см.

При этом ошибка определения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  не превышает  $\pm 5\%$ . Дополнительную осветляющую способность поверхностного слоя следует учитывать, принимая концентрацию взвешенных веществ в поступающей воде с коэффициентом 0,9.

Установлено, что на равномерность распределения отложений по высоте фильтра существенное влияние оказывают гранулометрический состав загрузки и скорость фильтрования. Однако характерной закономерностью является скопление значительного количества осадка в верхних слоях фильтра, относительный объем которого достигает 97%. Объем, занятый осевшей массой, определялся как произведение веса загрязнений на индекс осадка в промывной воде.

Грязеемкость фильтра определялась двумя путями. Путем непосредственного подсчета количества отложений по высоте фильтра и на основании расчетов по данным анализов на содержание взвешенных веществ в исходной воде и фильтрате.

Грязеемкость песчаных слоев в зависимости от скорости фильтрования была для 1 колонны в пределах от 0,87 до 1,62 кг/м<sup>3</sup>, для второй колонны — от 1,35 до 3,3 кг/м<sup>3</sup>, для 3 колонны — от 3,0 до 5,82 кг/м<sup>3</sup>. При этом анализ зависимости грязеемкости фильтрующих слоев от скорости фильтрования показал наличие экстремума кривой величины грязеемкости при общем увеличении ее для крупнозернистых слоев. Максимальная грязеемкость для песка с  $d_{экв} = 2,17$  мм имеет место при скорости фильтрования 14—15 м/час, для песка с  $d_{экв} = 0,652$  мм при скорости 12—14 м/час.

Сравнение данных грязеемкости фильтрующих слоев, определяемых по указанным методикам, показало, что количе-

ство отфильтрованного осадка по данным анализов концентрации взвеси в 1,2—1,4 раза больше, причем это различие наблюдается только для верхних слоев фильтра, толщиной 20—25 см.

Снижение свободного кислорода в исходной воде, предварительно аэрируемой в напорном баке, с 10—11 до 5—6 мг/л на выходе из фильтрующей загрузки свидетельствует о наличии постоянной биологической деятельности флоры и протекании биологической ассимиляции сорбированных на иле органических веществ. При недостатке питательной среды, который имеет место в очищенной сточной воде, происходит уменьшение биомассы за счет отмирания микроорганизмов в нижних ранее прилипших к зерну слоях осадка, с последующей их минерализацией.

Барботаж воздухом поступающей воды так же улучшает качество фильтрата: БПК<sub>5</sub> на 10—15% ниже, чем в неаэрируемой воде. Продолжительность фильтроцикла увеличивается при этом в 1,2—1,3 раза.

В четвертой главе приведены результаты исследований гидродинамики процесса фильтрования биологически очищенных сточных вод.

Прирост потерь напора в песчаной загрузке характеризуется наличием двух взаимосвязанных процессов: глубинной фильтрации и фильтрования через поверхностный слой осадка.

Установлено, что фильтрование сточной жидкости происходит в верхнем слое песчаного фильтра с сужением и закупоркой пор, что является причиной образования поверхностного слоя осадка. Осадок оказывает значительное сопротивление потоку жидкости и определяет характер прироста потерь напора в фильтре, который имеет вид показательной зависимости.

С момента образования осадка, фильтрация жидкости происходит как по свободным поровым трубкам, так и через поверхностный слой осадка, что приводит к его сжатию и резкому увеличению потерь напора в верхнем 2-сантиметровом слое фильтра —  $\Delta P_2$ . Величина потерь напора достигает 60—90% от общей потери напора в заиленной загрузке фильтра —  $\Delta P_1$ .

Установлено, что оптимальное соотношение величин  $\Delta P_2$  и  $\Delta P_1$ , обеспечивающее максимальную продолжительность фильтроцикла, имеет место при скорости фильтрования 12—14 м/час. При этом максимальное количество отфильтрованной за фильтроцикл сточной жидкости для загрузки с

$d_{экв} = 2,17$  мм находится в пределах 450—600  $м^3/м^2$  поверхности фильтра.

Количество отфильтрованной жидкости до момента образования осадка также зависит от скорости фильтрования, крупности зерен загрузки и физико-химических свойств взвеси. Для первой колонны с  $d_{экв} = 0,652$  мм время образования осадка соответствует количеству профильтрованной воды равной 40—70  $м^3/м^2$  поверхности фильтра, для второй колонны с  $d_{экв} = 1,04$  мм — 60—90  $м^3/м^2$ , для третьей колонны с  $d_{экв} = 2,17$  мм — 140—200  $м^3/м^2$ .

Рост потерь напора в толще фильтрующей загрузки имеет сложный характер, обусловленный процессом формирования поровой трубки.

Предположение о наличии в заиленном фильтрующем слое поровых трубок круглого сечения базируется на том, что формирование порового канала есть процесс гидродинамический, определяемый условием устойчивого состояния только при движении потока по гидравлически невыгоднейшему сечению, т. е. по трубке круглого сечения, оказывающей наименьшее гидравлическое сопротивление.

На примере упорядоченного расположения частиц с пористостью загрузки  $\epsilon = 0,4$  рассмотрена физическая модель формирования поровой трубки. Модель обоснована характером прироста потерь напора, кинетикой процесса осветления и, подтвержденным опытными данными, изменением удельной поверхности зернистого слоя, омываемого потоком сточной жидкости.

Показано, что при достижении предельного гидравлического уклона в слое происходит изменение структурных свойств осадка, сорбированного на загрузке, т. е. его уплотнение с сохранением геометрии порового канала. Вследствие этого, слой до конца фильтроцикла продолжает задерживать некоторое количество взвеси при постоянной величине потери напора.

В пятой главе даны результаты исследований методов промывки загрузки, проведенные с целью установления оптимального способа и режима промывки.

Рассмотрены их достоинства и недостатки.

Опыты показали, что специфические свойства взвешенной фазы очищенных сточных вод не позволяют рекомендовать обычные методы промывки фильтрующей загрузки, применяемые в водопроводной практике.

Применение только водяной промывки даже с относительным расширением песка 60% — неэффективно, так как по

окончании промывки поверхность фильтра содержит студенистые скопления биоценоза активного ила прочно скрепленные с поверхностью зерен песка. Общая площадь поверхностных скоплений осадка толщиной 3—4 мм достигала 35—45% всей площади фильтров.

Взвесь в промывной воде характеризуется хорошей осаждаемостью. Индекс взвеси промывной воды на 25—35% ниже индекса на аэротенков. Качественной особенностью процесса отстаивания является наличие интенсивного хлопьеобразования, способствующего увеличению гидравлической крупности и эффекта осветления. Остаточное содержание взвеси в отстоянной воде не превышает 25 мг/л.

Раздельная водовоздушная промывка обеспечивала хорошее качество отмывки. Однако, существенное ухудшение показателей осаждаемости взвеси в промывной воде, вследствие насыщения ее воздухом, не дает возможность рекомендовать ее.

Совместная водовоздушная промывка также обеспечивает хорошее качество отмывки фильтрующего материала и включает в себя одновременную подачу воздуха и воды. Недостатком совместной водовоздушной промывки является вынос мелких фракций песка из фильтра. Уменьшение интенсивности промывки приводит к ухудшению качества отмывки поверхностных слоев песка.

Трехстадийная промывка, рекомендуемая к применению, включает промывку водой с интенсивностью: для I колонны — 11,8 л/сек  $м^2$ , для II колонны — 14,6 л/сек  $м^2$ , для III колонны — 31 л/сек  $м^2$  в течение 5 мин. с последующей подачей воздуха в течение 4 мин. с интенсивностью 28 л/сек  $м^2$ . Окончательная отмывка загрязнений производится водой с такой же интенсивностью, что и на первом этапе в течение 2 мин. Метод обеспечивает хорошее качество отмывки фильтрующего материала.

Во избежание необратимого процесса накопления загрязнений в поверхностном слое песка и обеспечения эффективной отмывки и осаждаемости взвеси промывной воды следует продолжительность фильтроцикла принимать не более 24 часов.

В шестой главе приведена методика расчета скорых фильтров и даны практические рекомендации для проектирования сооружений доочистки.

Предложенная методика расчета основана на принципе технологического моделирования процесса фильтрования, что

позволяет для любого состава биологически очищенных сточных вод получать оптимальные параметры фильтра. Для этого рекомендуется следующая последовательность расчета.

1. На работающей со скоростью фильтрования 8—12 м/час колонке с толщиной слоя песка не менее 0,5 м и крупностью зерен загрузки 0,9—1,5 мм определяется продолжительность работы фильтра до момента достижения предельной потери напора  $t_0$  и параметры фильтрования  $a$  и  $b$ .

2. Определение продолжительности фильтроцикла для проектируемого фильтра с выбранной крупностью зерен загрузки и скоростью фильтрования производится по формуле:

$$t_H = t_0 \left( \frac{V_0}{V} \right) \cdot \left( \frac{d}{d_0} \right)^{1,25} \quad (4)$$

где индекс «0» относится к модели фильтра.

3. Правильность выбора параметров загрузки проверяется по формуле (1), исходя из требуемого качества фильтрата и степени доочистки.

4. Методом постепенного приближения решается задача определения оптимальной толщины загрузки. При этом должно обеспечиваться  $\frac{t_3}{t_H} = 1,2$ .

Определение времени защитного действия фильтра  $t_3$  производится по основной расчетной формуле, выведенной Д. М. Минцем:

$$t_3 = \frac{1}{K} \cdot \frac{b}{a} \left( x - \frac{X_0}{d} \right) \quad (5)$$

Для этого параметры фильтрования  $a$  и  $b$  проектируемого фильтра рассчитываются по полученным зависимостям:

$$a = a_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{0,8} \cdot \left( \frac{d_0}{d} \right) \quad (6)$$

$$b = b_0 \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0,516} \cdot \left( \frac{d_0}{d} \right)^{0,346} \quad (7)$$

Приведен пример расчета фильтров.

На основании лабораторных и полупромышленных испытаний элементов сооружений, материалов публикаций и учета опыта работы действующих станций доочистки рекомендована технологическая схема доочистки хозяйственно-

бытовых сточных вод для их повторного использования в хозяйственных и производственных целях.

Проведенный технико-экономический расчет показал, что себестоимость доочистки 1 м<sup>3</sup> сточной воды на песчаных фильтрах зависит от скорости фильтрования и составляет на станции доочистки производительностью 100000 м<sup>3</sup>/сут. от 0,143 до 0,119 коп. при скоростях фильтрования соответственно от 6 до 14 м/час.

### Основные выводы

1. Рассмотрение материалов публикаций показало отсутствие достаточных обоснований для выбора технологических параметров скорых песчаных фильтров для доочистки сточных вод.

2. Процесс осветления сточных вод характеризуется высоким эффектом извлечения взвешенных веществ (80—95%), что обусловлено значительной сорбционной способностью активного ила как основного компонента взвешенной фазы очищенных сточных вод. При этом происходит существенное улучшение санитарно-биологических показателей отфильтрованной сточной воды: БПК<sub>5</sub> снижается в среднем на 60%, ХПК на 40%, при наличии вторичных процессов биохимического окисления отфильтрованных органических примесей сточных вод.

3. Определены основные технологические и гидродинамические параметры работы скорых фильтров в режиме доочистки сточных вод. Выявлены основные факторы, влияющие на эффективность работы фильтров: концентрация взвеси в исходной воде, скорость фильтрования, крупность и высота слоя загрузки. Получена математическая зависимость эффекта от указанных факторов при работе фильтра в автоматическом режиме.

4. Выявлены особенности процесса осветления сточных вод с образованием осадка на поверхности фильтрующего слоя и закономерности насыщения порового пространства отфильтрованными примесями. Образование поверхностного слоя осадка существенно изменяет характер работы фильтрующего слоя, что приводит к качественному отличию кинетики процесса осветления верхним и глубинными слоями загрузки. Установленные зависимости показывают возможность применения принципов технологического моделирования для расчета осветляющей способности глубинных слоев фильтра.



5. Установленные закономерности процессов гидродинамики при осветлении сточных вод характеризуются наличием двух взаимосвязанных процессов: глубинной фильтрации и фильтрования через поверхностный слой осадка, образующийся в процессе работы при всех исследованных скоростях и крупности загрузки. Получены основные параметры, количественно характеризующие эти процессы.

6. Предложена методика расчета скорых песчаных фильтров для доочистки сточных вод, основанная на принципе технологического моделирования, с учетом дополнительной осветляющей способности верхнего слоя фильтра.

Для предварительных расчетов рекомендуются следующие параметры фильтров, обеспечивающие максимальную грязеемкость и продолжительность фильтроцикла:

- а) крупность загрузки — 1,3—2,4 мм,  $d_{\text{экв}} = 2,1$  мм;
- б) высота слоя загрузки — 0,8 мм;
- в) скорость фильтрования 12—14 м/час.

7. На основании исследований различных методов промывки фильтрующего слоя рекомендуется применение трехстадийной водовоздушной промывки. Для обеспечения эффективной осаждаемости взвеси промывной воды и предотвращения прогрессирующего накопления остаточных загрязнений в толще фильтра рекомендуется продолжительность фильтроцикла принимать не более 24 часов.

8. Себестоимость 1 м<sup>3</sup> доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод на песчаных фильтрах составляет для станции производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут. от 0,143 до 0,119 коп. при скоростях фильтрования соответственно от 6 до 20,8 м/час.

Выявленные оптимальные параметры фильтров рекомендованы для проектирования станции доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод г. Степногорска с последующим повторным использованием доочищенных сточных вод для хозяйственных и промышленных нужд.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих статьях.

1. Брынько Ю. В. Исследование эффективности промывки фильтрующей загрузки при доочистке хозяйственно-бытовых сточных вод на песчаных фильтрах. «Реферативный сборник. Межотраслевые вопросы строительства (отечественный опыт)», ЦИНИС, 1970, вып. 7.

2. Брынько Ю. В., Малов В. И. Осветляющая способность скорых песчаных фильтров при доочистке хозяйственно-бытовых сточных вод. «Реферативный сборник. Межотраслевые вопросы строительства (отечественный опыт)», ЦИНИС, 1970, вып. 11.

3. Брынько Ю. В. Применение песчаных фильтров для доочистки сточных вод. «Бюллетень по водному хозяйству», СЭВ, 1970, № 6

Л-107498.

Объем 1 п. л.

Бесплатно.

Подписано к печати 23/XI-71 г.

Тираж 160

Заказ 404

И-378

— Типография МИСИ им. В. В. Куйбышева.