

КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

ДЭН ХОЙТИНЬ

ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЕ ВОДЫ ФИЛЬТРОВАНИЕМ ЧЕРЕЗ  
МОДИФИЦИРОВАННУЮ ЗАГРУЗКУ

05.23.04 - Водоснабжение, канализация, строительные  
системы охраны водных ресурсов

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев - 1993

10 ао. аа

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Киевском государственном техническом университете строительства и архитектуры.

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор  
Терновцев Виталий Емельянович.

Официальные оппоненты:

1. Член-корр. АНУ, профессор Александр Яковлевич Олейник.
2. Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник  
Руденко Александр Григорьевич.

Ведущая организация: УкрВодоканалпроект

Защита состоится "10" ноября 1993 г. на заседании специализированного совета К 068.05.08 при Киевском государственном техническом университете строительства и архитектуры по адресу: 252037, Киев-37, Воздухофлотский проспект, 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КГТУСиА.

Автореферат разослан "10" октября 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

Накорчевская В.Ф.



Актуальность темы. Снабжение населения доброкачественной питьевой водой в достаточном количестве является актуальной социальной и санитарно-гигиенической проблемой, решение которой в большей степени зависит от совершенства технологии очистки воды.

Интенсивное развитие и расширение городов и сельских населенных пунктов предопределяет необходимость использования новых водных источников, которые часто содержат железо, обычно закисное, в недопустимых количествах для потребителей. Существует множество методов обезжелезивания воды, имеющих разные степени технологической надежности, экономичности, простоты, области применения. Однако, недостатки этих методов состоят в низкой их производительности, обусловленной малой продолжительностью фильтроцикла и длительным временем зарядки загрузки. Поэтому исследование и разработка новых методов обезжелезивания воды представляет актуальную народно-хозяйственную задачу.

Исключительную значимость приобретают исследования научно-практических вопросов, связанных с улучшением начального качества очищаемой воды до созревания загрузки и сокращением времени зарядки загрузки, при очистке воды от железа методом фильтрования. Результаты исследований, приведенные в данной работе, показали, что одним из возможных путей интенсификации процесса очистки воды от железа может служить формирование на поверхности зерен загрузки каталитической пленки (модификация загрузки) и использование ее при обезжелезивании воды.

Цель и задачи исследований. Целью исследований является разработка модифицированной загрузки для интенсификации обезжелезивания воды и обоснование основных параметров технологического процесса.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие основные задачи:

1. Сравнение результатов очистки воды от железа с использованием разных реагентов при модификации загрузки и выбор оптимального варианта.

2. Усовершенствование математической модели, описывающей процесс очистки воды от железа фильтрованием через модифицированную загрузку с учетом изменения в ней потерь напора.

3. Исследование влияния качественных показателей воды на процесс очистки ее от железа.

4. Исследование технологических режимов работы фильтра с модифицированной загрузкой, подбор оптимальных параметров работы фильтра для эффективного обезжелезивания воды.

5. Технико-экономическая оценка технологии обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку.

Научная новизна. Разработана технология обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку. Усовершенствована математическая модель, описывающая адсорбционную емкость загрузки, кинетику процесса и закономерность потерь напора. Определено влияние состава воды на процесс очистки ее от железа. Установлены основные параметры работы фильтра с модифицированной загрузкой для обезжелезивания воды.

Практическая значимость и внедрение результатов исследований. Диссертация выполнена в соответствии с общим планом научных исследований, проводимых на кафедре водоснабжения.

На основании исследований предложен опытно-промышленный образец высокоэффективного фильтра с модифицированной загрузкой для обезжелезивания воды и разработана инженерная методика его расчета. Результаты исследований переданы Комитету водного хозяйства Украины для использования при разработке станций обезжелезивания воды.

Апробация работы. Основные положения работы доложены на 52-54 научно-практических конференциях Киевского инженерно-строительного института ( г. Киев, 1991 - 1993 гг.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 4 печатные работы.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 145 страницах машинописного текста, содержит 19 рисунков, 20 таблиц и состоит из введения, шести глав, основных выводов и списка использованной литературы, включающего 118 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В связи с интенсивным ростом водопотребления городов, населенных пунктов и промышленных предприятий и увеличением доли подземных вод в общем балансе водоснабжения весьма актуальным становится вопрос интенсификации процесса обезжелезивания воды, улучшения начального качества очищаемой воды и сокращения времени зарядки загрузки.

Решению проблемы интенсификации процесса обезжелезивания воды посвящены труды видных ученых: Асс Г.Ю., Балашова Г.В., Золотова Е.Ф., Клячка В.А., Коммунара Г.М., Николадзе Г.И., Перлина А.М., Стакявичуса В.И., И.Халлюты, Х.Киттнера, Ли Гунбэна, Го Цинсюна и др.

Обзор и анализ литературных данных, посвященных методам обезжелезивания воды показал, что существуют разнообразные методы обезжелезивания воды, которые находят широкое практическое применение. Однако, каждый метод имеет свою степень технологической надежности, экономичности и обладает ограниченной областью применения. Методы глубокой аэрации, упрощенной аэрации, коагуляции и известкования исследованы достаточно подробно, о чем свидетельствуют многочисленные результаты экспериментальных и теоретических работ. Недостатком этих методов является низкая производительность, обусловленная непродолжительностью фильтроцикла и длительное время зарядки загрузки. Метод "сухой" фильтрации находит большое применение при окислении воды кислородом воздуха. По сравнению с другими методами он обладает более высокими технико-экономическими показателями. Метод фильтрации, в последнее время, находит большое применение. Его преимущества, по сравнению с существующими методами, полностью подтверждаются практикой. Недостаток метода в том, что до созревания загрузки качество очищаемой воды не соответствует требованиям ГОСТа "Вода "питьевая", а время созревания загрузки велико. Процесс фильтрации через модифицированную загрузку является одним из возможных путей улучшения начального качества очищаемой воды до созревания загрузки и сокращения времени "зарядки" загрузки.

Теоретическая часть диссертации представлена во второй главе. Отмечается, что в настоящее время механизм образования ферритов изучен недостаточно, а методы модификации загрузок разнообразны. В данной работе, в результате проведенных исследований, предложена следующая схема получения модифицированной загрузки (рис.1).

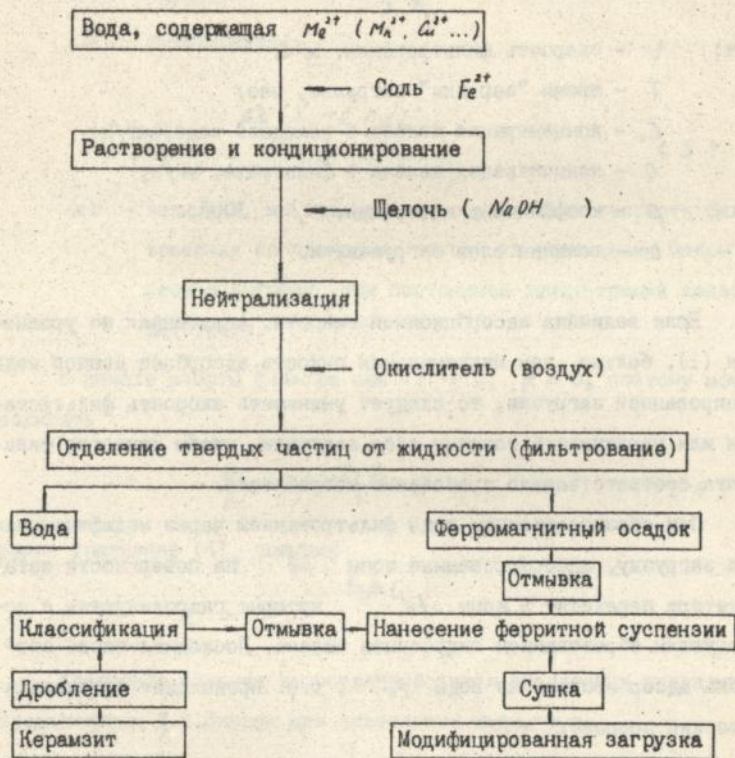


Рис. 1. Процесс получения модифицированной загрузки

На практике можно выбрать модифицированную загрузку по ее емкости адсорбции и времени "зарядки" загрузки таким образом, чтобы с первого момента работы фильтра качество очищаемой воды соответствовало требованию потребителя. Необходимая адсорбционная емкость загрузки равна

$$E_i = \frac{v T (C_0 - C)}{\beta L} \quad ( I )$$

- где:  $v$  - скорость фильтрования, м/ч;  
 $T$  - время "зарядки" загрузки, час;  
 $C_0$  - концентрация железа в исходной воде, мг/л;  
 $C$  - концентрация железа в фильтрате, мг/л;  
 $\beta$  - коэффициент адсорбции,  $\beta < 100\%$ ;  
 $L$  - толщина слоя загрузки, м.

Если величина адсорбционной емкости, полученная из уравнения (I), больше, чем максимальная емкость адсорбции данной модифицированной загрузки, то следует уменьшить скорость фильтрования или увеличивать толщину слоя загрузки, чтобы качество фильтрата соответствовало требованию потребителя.

При обезжелезивании воды фильтрованием через модифицированную загрузку, адсорбированные ионы  $Fe^{2+}$  на поверхности катализатора переходят в ионы  $Fe^{3+}$ , которые гидролизуются с последующим образованием гидроокиси железа. Последняя вновь способна адсорбировать из воды  $Fe^{2+}$ , т.е. происходит автокаталитический процесс.

Согласно существующему представлению, математические модели, описывающие процесс обезжелезивания воды, могут быть представлены в виде

$$\frac{\partial c}{\partial L} + \frac{k_0 S_0}{v} c + \frac{\alpha}{v} g = 0 \quad (2)$$

где  $k_0$  - константа скорости окисления  $Fe^{2+}$  в слое загрузки, г.см/ч;

$S_0$  - удельная поверхность фильтрующей загрузки, см<sup>2</sup>.г<sup>-1</sup>;

$g$  - масса гидроокиси железа, накопившегося в слое загрузки;

$\alpha$  - коэффициент;

$$\alpha = \frac{\Delta v (c_0 - c) / L}{g} \quad (3)$$

$\Delta v$  - величина, на которую можно увеличить скорость фильтрации со временем, исходя из увеличения массы железа в загрузке при постоянной концентрации железа в фильтрате.

В начале работы фильтра при  $t^* = 0$ ,  $g = 0$ , поэтому можно записать

$$-\frac{\partial c}{\partial L} = \frac{k_0 S_0}{v} c \quad (4)$$

решая уравнение (4), получим

$$c = c_0 e^{-\frac{k_0 S_0}{v} L} \quad (5)$$

Уравнение баланса вещества выводится аналогично уравнениям, предложенным Д.М.Минцем для осветления воды, т.е.

$$-v \frac{\partial c}{\partial L} = \frac{\partial g}{\partial t} \quad (6)$$

Исключив из системы (2) и (6)  $\varphi$ , окончательно получим

$$\frac{\partial^2 c}{\partial l \partial t} + \frac{k_0 s_0}{v} \frac{\partial c}{\partial t} - \alpha \frac{\partial c}{\partial l} = 0 \quad (7)$$

Последнее уравнение в приближенной форме описывает кинетику процесса обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку.

Решая уравнение (7) при начальном и граничном условиях:

$$C|_{t=0} = C_0 e^{-\frac{k_0 s_0}{v} l} \quad 0 \leq l < \infty \quad (8)$$

$$C|_{l=0} = C_0 \quad 0 \leq t < \infty \quad (9)$$

получим

$$C = C_0 e^{\alpha t - \frac{k_0 s_0}{v} l} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \left( \frac{k_0 s_0}{v} l \cdot \alpha t \right)^n}{(n!)^2} \quad (10)$$

При очистке воды от железа фильтрованием в зернистой загрузке образуются осадки гидроокиси железа, которые изменяют поперечное сечение и геометрическую форму пористых каналов, что приводит к росту гидравлического сопротивления.

Определение потерь напора в фильтре осуществляется по формуле:

$$\frac{\partial H}{\partial L} = \frac{dH_0}{dL} + K \varphi \quad (11)$$

где  $\frac{dH_0}{dL}$  - начальный гидравлический уклон (при  $\varphi = 0$ ), определяется по известной зависимости Кожени-Кармана.

Для определения потерь напора в фильтре при обезжелезивании воды на основании зависимости (II), нами была получена формула:

$$H = h_0 + e \frac{0,00046 C_0 S_0 v \mu t}{\rho k_0} - 1 \quad (12)$$

- где  $h_0$  - начальные потери напора, м вод. ст;  
 $C_0$  - концентрация железа в исходной воде, мг/л;  
 $S_0$  - удельная поверхность фильтрующей загрузки,  $\text{см}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$ ;  
 $k_0$  - константа скорости окисления  $\text{Fe}^{2+}$  в слое загрузки, г.см/ч;  
 $v$  - скорость фильтрования, м/ч;  
 $t$  - продолжительность времени фильтрации, час;  
 $\rho$  - плотность воды, г/см<sup>3</sup>;  
 $\mu$  - коэффициент динамической вязкости воды, г/см.с;

В третьей главе описаны экспериментальные установки, методика проведения химических анализов и используемые приборы. Рассмотрено планирование экспериментальных исследований.

Эксперименты проводились в лабораторных и натуральных условиях. В данной работе в качестве модификаторов выбраны  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ . Для определения оптимального состава каталитической пленки проводились исследования статической адсорбции растворенного двухвалентного железа из воды модифицированными загрузками, включающими вышеперечисленные соединения.

Исследования показали, что разные загрузки имеют различную способность адсорбции. Необработанный керамзит обладает наименьшей способностью к адсорбции двухвалентного железа. Модификация загрузок резко повышает их адсорбционную способность. Модифици-

рованный керамзит ферритом марганца или диоксидом марганца имеет наибольшую адсорбционную способность.

Сравнение эффекта очистки воды от железа фильтрованием через различные модифицированные загрузки производили на фильтровальных колонках. В качестве загрузки использовали как необработанный керамзит, так и керамзит, поверхность которого модифицирована магнетитом, ферритом марганца, ферритом меди и диоксидом марганца. Крупность зерен загрузки 2,0 - 3,5 мм, скорость фильтрования 3 м/ч, концентрация железа в исходной воде 3,5 мг/л. Целью этих экспериментов являлось сравнение эффекта очистки воды от железа фильтрованием через разные загрузки для выбора оптимальной загрузки. Эксперименты проводились одновременно на пяти фильтрах, которые работали одновременно в одинаковых условиях. Результаты исследований показаны на рис. 2. Анализ результатов исследований показал, что качество воды, профильтрованной через модифицированную загрузку, во много раз выше, чем в случае необработанного керамзита. Наилучший эффект работы загрузки - модифицированный керамзит диоксидом марганца или ферритом марганца, необработанная загрузка из керамзита слабо очищает воду.

Из практики обезжелезивания воды известно, что после образования пленки на зернах фильтрующей загрузки, эффект очистки воды от железа возрастает даже при больших скоростях фильтрования за счет автокаталитического процесса. Однако, образование пленки на зернах загрузки - процесс медленный и, в зависимости от исходного качества воды, может колебаться от нескольких часов до 10 и более суток.

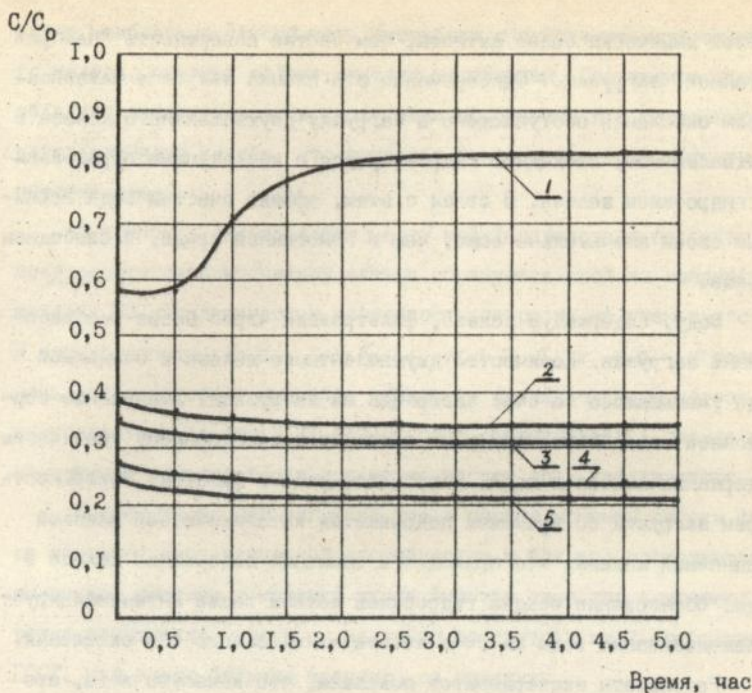


Рис. 2. Сравнение эффекта работы различных загрузок

- 1 - необработанный керамзит; 2 - модифицированный  $Fe_2O_3$  ;  
 3 - модифицированный  $CaO \cdot MnO_2$  ; 4 - модифицированный  $MnO \cdot Fe_2O_3$  ;  
 5 - модифицированный  $MnO_2$  ;

Для необработанного керамзита, в самом начале процесса обезжелезивания воды, когда на загрузке еще не образовалась пленка, адсорбция двухвалентного железа на поверхности происходит в мономолекулярном слое, т.е. имеет место физическая адсорбция, обусловленная силами притяжения между молекулами адсорбата и адсорбента. После образования мономолекулярного слоя, процесс выделения соединений железа на зернах загрузки не прекращается, а наоборот, усиливается вследствие того, что образовавшийся мо-

нослой химически более активен, чем чистая поверхность "необработанной" загрузки. Одновременно эта пленка является катализатором окисления поступающего в загрузку двухвалентного железа в трехвалентное, последнее гидролизует с последующим образованием гидроокиси железа. В связи с этим, эффект очистки воды зернистым слоем значительно выше, чем в гомогенной среде, в свободном объеме.

Воду, содержащую железо, фильтровали через новые необработанные загрузки. Количество двухвалентного железа в очищаемой воде уменьшалось за счет адсорбции на загрузках. Уменьшение сорбционной способности загрузки приводит к постепенному увеличению содержания железа в воде. В процессе работы фильтра, поверхность зерен загрузки со временем покрывается каталитической пленкой соединений железа, что приводит к снижению содержания железа в воде. Образование осадка гидроокиси железа также интенсифицирует обезжелезивание воды за счет автокаталитического его окисления.

Результаты экспериментов показали, что качество воды, профильтрованной через модифицированную загрузку, во много раз лучше, чем для сравняемого необработанного керамзита, так как на поверхности зерен загрузки уже сформировалась каталитическая пленка, в состав которой входят соединения  $Fe_2O_3$ ,  $CaO \cdot Fe_2O_3$ ,  $MnO \cdot Fe_2O_3$  и  $MnO_2$ , играющие основную роль в ускорении процесса окисления двухвалентного железа в трехвалентное.

Для рассмотренных модифицированных загрузок из-за разной способности к адсорбции и разной каталитической активности поверхности зерен загрузки, в начальный период времени работы фильтра, эффект очистки воды несколько различен. Соединение  $MnO_2$ ,

имеет наибольшую способность адсорбции и окисления двухвалентного железа, поэтому эффект очистки максимален. Соединение  $MnO \cdot Fe_2O_3$  обладает каталитическими свойствами по отношению к окислению двухвалентного железа, что приводит также к высокому эффекту очистки воды.

В процессе фильтрования через модифицированную загрузку на поверхности каталитической пленки образуется слой из соединений железа. Но каталитическая способность загрузки не уменьшается. В начале работы  $Fe_2O_3$ ,  $CaO \cdot Fe_2O_3$ ,  $MnO \cdot Fe_2O_3$  и  $MnO_2$  играет роль катализатора в процессе окисления двухвалентного железа в трехвалентное, а когда на поверхности сформировалась пленка из соединений железа, тогда последняя играет роль катализатора.

Модифицированная загрузка уже в первые моменты работы фильтра обладает каталитической способностью и большой поглощающей емкостью, поэтому с момента пуска фильтра качество очищаемой воды резко улучшается, достигая величины соответствующей требованию ГОСТ, что имеет большое значение на практике.

Экспериментальные исследования показали, что керамзит, модифицированный  $MnO_2$  является одним из лучших видов загрузок, но нами был принят керамзит, модифицированный ферритом марганца, достоинство которого состоит в том, что свойства загрузки после промывки практически не изменяются, а эффективность работы загрузки всего на 2-3% меньше, чем у диоксида марганца, поэтому дальнейшие исследования проводились на загрузке из керамзита, модифицированного  $MnO \cdot Fe_2O_3$ .

Известно, что скорость окисления  $Fe^{2+}$  в свободном объеме воды (при обезжелезивании воды аэрационными методами) сильно зависит от концентрации железа в исходной воде, pH, щелочности

и других показателей. В данной работе определено влияние этих показателей на процесс обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку. Эксперименты проводились на фильтровальной колонке. В качестве загрузки использовался керамзит, модифицированный ферритом марганца. Исследования показали, что концентрация железа в исходной воде оказывает значительное влияние на эффект работы фильтров. Когда концентрация железа небольшая (до 2,6 мг/л), качество фильтрата соответствует ГОСТ при скорости фильтрования  $V = 8$  м/ч, для толщины слоя загрузки  $L = 0,42$  м. Когда концентрация железа увеличивается до 5,4 мг/л, продолжительность фильтроцикла уменьшается, однако, уменьшая скорость фильтрования до 6 м/ч или, увеличивая высоту слоя загрузки до 0,56 м, можно также получать высокий эффект очистки. Когда концентрация железа выше 15 мг/л, одноступенчатое фильтрование не дает надежного результата очистки воды и поэтому следует применять двухступенчатую схему очистки воды.

Результаты экспериментальных исследований по влиянию щелочности и pH исходной воды на процесс очистки ее от железа приведены в табл. I и 2. Для процессов, протекающих в области гетерогенных каталитических реакций, константа скорости окисления в пределах изменения pH = 6,0 - 10,5 и щелочности 2,6 - 9,0 мг-экв/л не зависит от pH и щелочности воды.

Согласно мультиплетной теории А.Я.Баладина при катализе происходит наложение групп реагирующих атомов субстрата на группу активных атомов катализатора с образованием промежуточного мультиплетного комплекса. Взаимодействие катализатора с субстратом происходит под влиянием валентно-химических сил, причем связи внутри молекул ослабляются, за счет чего происходит уменьше-

Табл. 1. Влияние щелочности на процесс очистки воды

№	Щелочность, мг-экв/л	Начальное содержание Fe, мг/л	Конечное содержание Fe, мг/л	Эффект очистки %	Приме- чание
1	0,10	2,39	1,16	51,48	Крупность зерен за- грузки
2	2,61	2,39	0,62	74,06	
3	3,16	2,93	0,60	74,90	2,0-3,5мм ;
4	6,25	2,05	0,53	74,15	Скорость фильтрации 7 м/ч ;
5	7,95	2,05	0,52	74,63	
6	9,00	2,05	0,52	74,63	

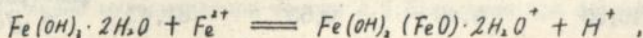
Табл. 2. Влияние pH воды на процесс ее очистки

№	pH воды	Начальное содержание Fe, мг/л	Конечное содержание Fe, мг/л	Эффект очистки %	Приме- чание
1	5,00	3,60	1,26	65,0	Крупность зерен за- грузки
2	6,50	3,10	0,62	80,0	
3	6,8	3,60	0,70	80,56	2,0-3,5 мм ;
4	8,45	3,60	0,70	80,56	Скорость фильтрации 7 м/ч ;
5	10,50	3,40	0,63	81,47	
6	11,60	3,20	0,63	80,31	

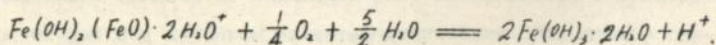
ние потенциального энергетического барьера реакции. В мультиплетном комплексе ослабленные валентные связи перераспределяются по определенным правилам с образованием продуктов реакции, поэтому кажущиеся константы скорости окисления  $Fe^{2+}$ , в процессе обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку, не должны зависеть от pH, что подтверждается результатами экспериментов в пределах pH 6-10,5, когда начинается образование пленки из гидроокиси железа. Щелочность воды, аммонийные соли, органические и другие вещества, не оказывают влияния на эффект удаления из воды железа, так как они не адсорбируются на поверхности зерен загрузки и не участвуют в химической реакции.

Гидроокись железа считается наиболее эффективным адсорбентом кремниевой кислоты и сероводорода. Поэтому при обезжелезивании воды фильтрованием через зерна загрузки, покрытые пленкой из гидроокиси железа, адсорбируется из воды двухвалентное железо, кремниевая кислота и сероводород, что в целом снижает активность загрузки.

Процесс обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку не требует предварительного окисления двухвалентного железа. Окисление двухвалентного железа происходит в слое загрузки. Каталитическая пленка адсорбирует двухвалентное железо из воды по следующей схеме:



а в присутствии кислорода:



Продукты реакции опять адсорбируют железо из воды.

На окисление I мг/л железа (II) теоретически расходуется 0,143 мг растворенного в воде кислорода.

В данной работе исследовано изменение потерь напора во времени в процессе фильтрования. Для загрузки крупностью 0,2-1,0 мм, 2,0-3,5 мм, 3,5-5,0 мм, при содержании железа в исходной воде 2,64 мг/л и скоростях фильтрации 8, 10, 15 м/ч, результаты исследований приведены на рис. 3 и 4.

При крупности зерен загрузки 2,0-3,5 мм, содержание железа в исходной воде 2,64 мг/л и скорости фильтрования 8 м/ч, рост потерь напора во времени сначала незначительный, а затем резко увеличивается. Продолжительность фильтроцикла составляет 24 часа. Фильтр выключается на промывку из-за достижения предельной величины потерь напора, а не из-за ухудшения качества фильтрата. При скорости фильтрования 10 м/ч, изменение потерь напора во времени возрастает, продолжительность фильтроцикла составляет 16 часов. Когда скорость фильтрования достигает 15 м/ч, потери напора интенсивно возрастают, продолжительность фильтроцикла сокращается до 8 часов. Анализ экспериментальных данных показывает, что оптимальная скорость может быть принята равной 8-10 м/ч.

В данной работе использовались загрузки разной крупности. При загрузке крупностью 0,25-1,0 мм, качество фильтрата хорошее, но интенсивно растут потери напора. При большей крупности зерен загрузки (3,5 - 5,0 мм), рост потерь напора незначителен, но качество профильтрованной воды хуже. Поэтому выбрана крупность зерен загрузки 2,0-3,5 мм.

Как видно из рис. 3 и 4 вычислительные кривые с использованием соотношения (12) хорошо воспроизводят характер эксперимен-

ЛИБ. 4-3-2

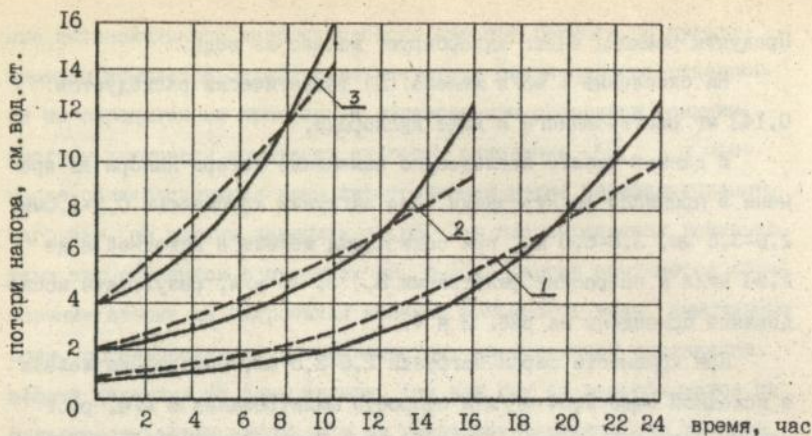


Рис. 3. Изменение потерь напора в процессе фильтрования (при разных скоростях)

Крупность зерен загрузки 2,0 - 3,5 мм

Скорость: 1 - 8 м/ч; 2 - 10 м/ч; 3 - 15 м/ч.

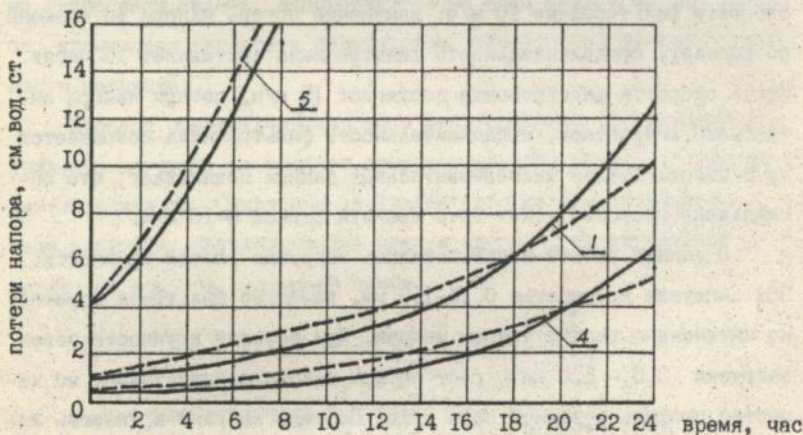


Рис. 4. Изменение потерь напора в процессе фильтрования (при разной крупности зерен загрузки)

Скорость фильтрования  $v = 8$  м/ч;

Крупность зерен загрузки: 1 - 2,0-3,5 мм; 4 - 3,5-5,0 мм;  
5 - 0,2-1,0 мм.

--- расчетные;

— экспериментальные.

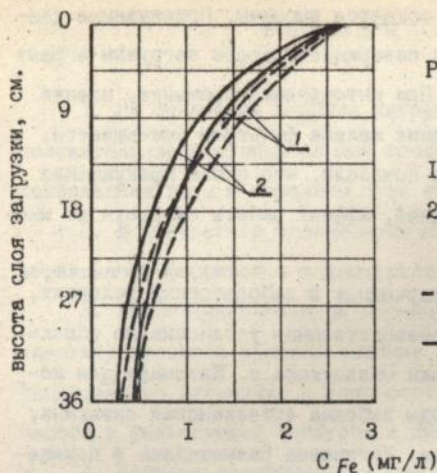


Рис. 5. Изменение содержания железа в толщине фильтрующей загрузки.

1 - фильтр работал 0,5 час;

2 - фильтр работал 5 час;

--- теоретические;

— экспериментальные

тальных данных.

Изменение содержания железа в толщине фильтрующей загрузки показано на рис. 5.

Кривые изменения содержания железа по толщине фильтрующей загрузки при различной продолжительности фильтроцикла дают представления о характере кинетики процесса обезжелезивания воды. На графиках рис. 5 расчетные кривые хорошо воспроизводят характер экспериментов.

Для немодифицированной загрузки отмечалось, что каталитическая способность пленки на поверхности загрузки уменьшается вследствие интенсивной промывки. Эксперименты показали, что качество воды ухудшается при увеличении длительности промывки. Рекомендуемое время промывки - 5-8 мин. Через 10-15 мин. после промывки, содержание железа в фильтрате уже в норме, если промывать 20 мин., качество фильтрата ухудшается, фильтр через 3 часа начинает нормально работать. Если промывать 40 мин., содержание желе-

за в фильтрате через 7 часов остается высоким. Приведенные данные показывают, что пленка на поверхности зерен загрузки играет главную каталитическую роль. При интенсивной промывке, пленка смывается и способность удаления железа фильтром уменьшается.

Результаты экспериментов показали, что после прекращения работы фильтра на несколько дней, эффект работы загрузки во много раз уменьшается.

Для проверки выводов, полученных в лабораторных условиях, нами была запроектирована производственная установка по обезжелезиванию воды. По рекомендации Облводхоза г. Житомира для исследования обезжелезивания воды выбрана артезианская скважина, эксплуатируемая в черте города. Установка размещалась в помещении станции обезжелезивания воды и работала параллельно с действующими фильтрами.

Экспериментальная установка была в работе 162 суток. Во всех 48 пробах содержание железа удовлетворяет требованиям ГОСТ "Вода питьевая". Эффективность обезжелезивания установки с модифицированной загрузкой составила 94%. В отличие от необработанной загрузки в первые минуты работы фильтра, содержание железа в фильтрате уже удовлетворяет требованиям ГОСТ. Продолжительность фильтроцикла составляет не менее 15 суток и обусловлена достижением предельно допустимой величины потерь напора, а не ухудшением качества фильтрата.

Для станции обезжелезивания воды средней производительности 10000 м<sup>3</sup>/сут., при концентрации железа в исходной воде 10 мг/л, годовой экономический эффект от внедрения технологии обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку, составляет 163 тыс. руб., в ценах 1988 года.

## ВЫВОДЫ

1. На основании анализа литературных источников выяснены положительные и отрицательные стороны существующих методов обезжелезивания воды и намечены пути их усовершенствования.

2. В результате проведенных исследований предложен механизм образования ферритов в водных растворах.

3. Усовершенствованные математические модели, описывающие кинетику процесса обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку, и дано соотношение для определения потерь напора в фильтрующей загрузке с каталитическим слоем.

4. Изучена адсорбционная способность различных загрузок. В результате исследований установлено, что модифицированный керамзит марганца и диоксидом марганца обладает наибольшей адсорбционной способностью.

5. Концентрация железа в исходной воде оказывает влияние на эффект работы фильтра. При концентрации железа более 15 мг/л, одноступенчатое фильтрование не дает надежного результата очистки воды.

6. Для процесса, протекающего в области гетерогенных каталитических реакций, константа скорости окисления  $Fe^{2+}$  не зависит от pH и щелочности воды ( в пределах pH = 6,0 - 10,5, щелочность = 2,6 - 9,0 мг-экв/л).

7. Определены основные параметры режимов работы фильтра при обезжелезивании воды фильтрованием через модифицированную загрузку. Экономический эффект от внедрения технологии обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку составляет 163 тыс. руб., в ценах 1988 года.

Основное содержание диссертации изложено в следующих опубликованных работах:

1. Дэн Хойпинь. Очистка воды от железа. // Тезисы докладов 52-й научно-практической конференции КИСИ, Киев, 1991.
2. Дэн Хойпинь. Обезжелезивание воды фильтрованием через модифицированную загрузку. // Тезисы докладов 53-й научно-практической конференции КИСИ, Киев, 1992.
3. Дэн Хойпинь. Экспериментальные исследования статической и динамической адсорбции растворенного двухвалентного железа из воды модифицированными загрузками. // Тезисы докладов 54-й научно-практической конференции КИСИ, Киев, 1993.
4. Терновцев В.Е., Дэн Хойпинь. Экспериментальные исследования обезжелезивания воды фильтрованием через модифицированную загрузку. // - Деп. в ГНТБ Украины 09.07.93. № 1451-Ук. 93.

---

Подп. к печ. 06.10.93

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага тип. № 3. Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 1,33

Услови. кр.-отт. 1,62. Уч.-изд. л. 1,0

Тираж 100. Зак. № 5841. Бесплатно.

---

Фирма «ВИПОЛ»

252151, г. Киев, ул. Волинская, 80.





463672

Бесплатно

АВ 28.227  
**АВ 28.227**