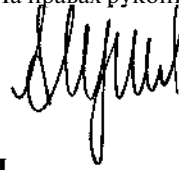


На правах рукописи



**Луков Александр Николаевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ  
ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ  
ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

05.23.04 - Водоснабжение, канализация, строительные  
системы охраны водных ресурсов

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Нижний Новгород - 2001

Научный руководитель  
кандидат технических наук, профессор **Е. А. Горбачев**

Официальные оппоненты  
доктор технических наук, профессор **М. Г. Журба**,  
кандидат технических наук, доцент **А. И. Фирсов**

Ведущая организация  
**ОАО «Нижегородский САНТЕХПРОЕКТ»**

Защита состоится « 6 » июля 2001 г. в 13-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.162.02 в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 603600, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65, корпус V, аудитория 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан «30» мая 2001г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук



Е. В. Копосов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Среди проблем глобального масштаба в настоящее время особенно важной является обеспечение населения планеты полноценной и доброкачественной питьевой водой. Этой задаче серьезное внимание уделяют ООН и входящие в ее состав организации: ЮНЕСКО, Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Всемирная метеорологическая организация (ФАО) и др. Началом её решения явилась конференция ООН по окружающей среде и развитию, проведенная в Рио-Де-Жанейро (июнь 1992 г., Бразилия). На ней был разработан и принят план действий - Повестка дня на XXI век, важнейшей стратегической задачей которого является обеспечение всех людей пресной водой для питья и санитарно-гигиенических целей. Он был одобрен на конференции министров по проблемам воды и улучшения состояния окружающей среды (22-23 марта 1994 г., Нидерланды). Большой вклад в решение проблемы внесли международные конгрессы, проведенные в г. Москве. Авторитет этих форумов подтверждается широким представительством на них крупнейших международных организаций, ведущих ученых и специалистов. На конгрессах обсужден большой спектр вопросов, связанных с состоянием, использованием, воспроизводством и охраной водных ресурсов.

Международные научно-промышленные форумы "Великие реки - 99" и "Великие реки - 2000", которые состоялись в г. Н. Новгороде, были также посвящены задачам экологического оздоровления и устойчивого развития бассейнов великих рек мира. На форумах отмечалось, что в целом для России проблема стабильного водоснабжения стала весьма актуальной и требует реализации комплекса нормативных, экономических и водохозяйственных мер межотраслевого уровня, обеспечивающих минимизацию сброса неочищенных сточных вод, защиту водоисточников от антропогенного загрязнения, улучшение качества питьевой воды.

Поверхностные источники страны сильно загрязнены, а действующие сооружения водоподготовки практически не способны обеспечить удаление загрязнений антропогенного происхождения: фенолов, нефтепродуктов, СПАВ,

пестицидов, ионов тяжелых металлов, веществ, оказывающих мутагенные действия, а также влияющих на гонады и эмбриогенез. По официальным данным до 30 % заболеваний населения инициировано низким качеством питьевой воды.

В указе Президента Российской Федерации "О государственной стратегии Российской Федерации по охране окружающей среды и обеспечению устойчивого развития" за № 236 от 4 февраля 1994 г. предусматривается охрана среды обитания человека и, в частности, обеспечение населения качественной питьевой водой.

Работа выполнялась в рамках реализации Федеральной целевой программы «Оздоровление экологической обстановки на реке Волге и её притоках, восстановление и предотвращение деградации природных комплексов Волжского бассейна» («Возрождение Волги»), которая рассчитана на период до 2010 года. Программа имеет комплексный характер и включает 10 основных направлений. Одним из главных направлений является рациональное использование, восстановление и охрана водных ресурсов. Оно включает 9 крупных проектов, выполнение которых обеспечивает решение важнейших практических задач. Центральное место среди них занимает задача обеспечения населения *высококачественной питьевой водой*.

**Цель и задачи** диссертационной работы. Основной целью работы является научное обоснование, разработка, исследование и внедрение новых приемов и эффективных технологий в схемы водоподготовки по удалению загрязнений природного и антропогенного происхождения для получения высококачественной питьевой воды. Для реализации этой цели были поставлены и решены следующие задачи: выполнен комплекс анализов качества исходной и питьевой воды в длительном временном аспекте (1994 -2001 гг.) и проведена оценка работы «классических» схем водоподготовки; осуществлен выбор наиболее эффективных и экономичных реагентов и их режимов ввода в обрабатываемую воду; разработаны новые приемы и эффективные технологии водоподготовки; предложены принципы оптимизации и технологического перевоору-

жения станций водоподготовки; разработана модель водопроводной станции, включающая вопросы остаточного ресурса, надежности и экономического состояния предприятия.

**Научная новизна работы** заключается:

- в методологии комплексного подхода к обоснованию, разработке и внедрению в рамках Волго-Вятского региона (на примере г. Н. Новгорода) эффективных приемов, технологий и сооружений по очистке природных вод, с учетом динамики изменения качества исходной воды;
- в предложенных методах повышения барьерной роли сооружений и снижении стоимости водоподготовки;
- в исследованиях и внедрении новых реагентов для водоподготовки;
- в интенсификации коагуляционной технологии очистки воды (а.с. №1742222, положительное решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2000122939/12 (024434) от 05.09.2000 г.);
- в оптимизации работы очистных сооружений станций водоподготовки;
- в выявлении эффективности и влияния озонирования на другие технологические процессы станций водоподготовки;
- в прогнозировании состояния водопроводных систем;
- в разработке микроэкономических моделей системы водоснабжения.

**Практическая значимость и реализация работы.** Основные результаты исследований реализованы в деятельности МУП "Водоканал" г. Н. Новгорода. По данным проведенных исследований определены направления совершенствования работы водопроводных систем, разработаны и внедрены новые технологические схемы и приемы для получения доброкачественной питьевой воды. Предложена и реализуется модель водопроводной очистной станции (ВОС), включающая вопросы остаточного ресурса, надежности и экономического состояния предприятий. Выполнено прогнозирование экономических показателей производства с учетом современных методов рыночной экономики. Получено 6 актов о внедрении с экономическим эффектом 11343 тыс. руб. Результаты работы включены в учебный процесс университета при изуче-

нии спецкурса «Новые инженерно-технические решения систем ВиВ» для студентов специальности 290800 -«Водоснабжение и водоотведение».

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: российско-германском семинаре "Технология очистки воды" (г. Н. Новгород, 1995 г.); международной конференции "Применение озона для очистки питьевой воды" (г. Н. Новгород, 1997 г.); третьем международном конгрессе "Вода: экология и технология" - "ЭКВАТЭК - 98" (г. Москва, 1998 г.); международном научно-промышленном форуме "Великие реки - 99" (г. Н. Новгород, 1999 г.); международной конференции «Практическое применение озона для очистки питьевой воды» (г. Н. Новгород, 1999г.); научно - технических конференциях профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов и студентов ННГАСУ (г. Н. Новгород, 1990-н2000гг.), научных семинарах кафедры водоснабжения и водоотведения ННГАСУ в 1990-2001 гг.

На защиту выносятся:

- результаты экспериментальных и теоретических исследований эффективности работы «классических» и альтернативных схем и технологий подготовки качественной питьевой воды;
- экспериментально - теоретические исследования и обоснования экономической целесообразности и технической возможности работы станций по новым технологиям;
- результаты экспериментальных и производственных испытаний новых технологических приемов и схем;
- разработка микроэкономических моделей системы водоснабжения.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 13 печатных работ. Получено авторское свидетельство на изобретение (№ 1742222 от 22 февраля 1992 г.) и положительное решение о выдаче патента на изобретение по заявке №2000122939/12 (024434) от 05.09.2000 г..

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 6 глав, общих выводов, списка литературы, включающего 136 наименований, в том

числе 25 иностранных, и приложений. Работа изложена на 270 страницах машинописного текста, содержит 45 рисунков, 48 таблиц, 25 приложений.

Основной объем аналитических исследований выполнен автором в лабораториях водоочистных станций ("Малиновая гряда", Слудинская и Ново-Сормовская), а также в лабораториях кафедры водоснабжения и водоотведения ННГАСУ. При выполнении исследовательских работ автору постоянно оказывалась помощь со стороны заведующих лабораториями Шашковой Г.Б., Иваницкой Т.М. и их сотрудников.

Большую помощь в реализации разработок оказали специалисты МУП "Водоканал" и водопроводных очистных станций: Макаров Н.П., Мирнова Т.А., Ориничева Т.А., Шестопалов П.П., Лысенко Л.А., Сидорчук Н.Д., Губанов А.Н., Никушкина А.Н., Мокеева Л.В.

При разработке специальных вопросов автор сотрудничал с д.т.н. Драгинским В.Л. и к.т.н. Корабельниковым В.М. (НИИ КВОВ), к.т.н. Демидовым О.В. (ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО), д.т.н. Николадзе Г.И. и д.т.н. Сомовым М.А. (МГСУ), специалистами проектных организаций "Гипрокоммунводоканал" (г. Москва) и проектными организациями г. Н. Новгорода. Автор выражает искреннюю благодарность указанным специалистам и сотрудникам организаций за консультационную, техническую и организационную помощь при выполнении и оформлении работы.

Особую благодарность автор выражает д.т.н., профессору, академику **В. В. Найденко** за научное консультирование при выполнении диссертационной работы.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, определены цель и задачи исследований, отмечена её научная новизна и практическая значимость.

**Первая глава** посвящена анализу современного состояния проблемы получения качественной питьевой воды в г. Н. Новгороде, в частности в Нагорной её части. Проанализированы данные источника водоснабжения (р. Ока),

технологические схемы и состав сооружений ВОС Слудинской и «Малиновая гряда». В докладе Государственного комитета по охране окружающей среды Нижегородской области за 1998 г. отмечается, что вода р. Оки, выше г. Н. Новгорода, относится к классу умеренно загрязненных вод. Характерными загрязняющими веществами являются медь (5 ПДК), азот нитритный (1,8 ПДК), нефтепродукты (1 ПДК). Максимальная концентрация меди в этот период достигла 9 ПДК, железа и нефтепродуктов - 3 ПДК. Максимальная концентрация азота нитритного (в марте) превысила критерий высокого загрязнения (ВЗ) и составила 13 ПДК. На устьевом участке р. Оки расположены две станции хозяйственно - питьевого назначения: "Малиновая гряда" (суммарной производительностью 205 тыс. м<sup>3</sup>/сут), Слудинская (суммарной производительностью 170 тыс. м<sup>3</sup>/сут), обеспечивающие питьевой водой три района Нагорной части г. Н. Новгорода (Приокский, Советский и Нижегородский) (рис.1).

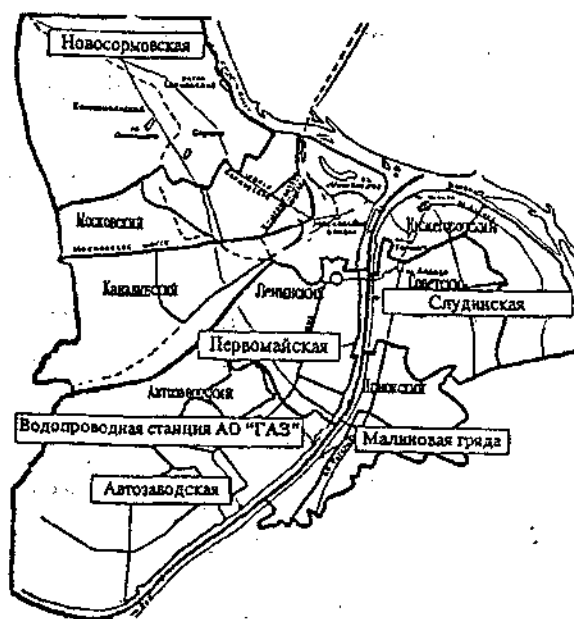


Рис. 1. Ситуационный план расположения водопроводных очистных станций (ВОС) г. Н. Новгорода



По среднегодовым показателям вода р. Оки в створах водозаборов была загрязнена в створах водозаборов Дзержинского, Автозаводского в 1,6-7-4 раза выше нормы азотом нитритным, в 1,4-е-2 раза - азотом аммонийным. Максимальные концентрации загрязняющих веществ достигали следующих значений: азота нитритного - 20 ПДК, железа общего - 46 ПДК, нефтепродуктов - 13 ПДК, азота аммонийного- 4 ПДК, СПАВ - 5 ПДК, лигносульфонатов - 45 ПДК, четыреххлористого углерода - 11 ПДК.

Продолжается интенсивное загрязнение речных акваторий неочищенными или недостаточно очищенными производственными стоками. В связи с этим в 1998 г. число нестандартных проб питьевой воды по химическим показателям в среднем по городу составило 20,9 % (в 1997 г. - 17,1%), по микробиологическим показателям - 3,5 % (в 1997 г. - 2,8%). По некоторым городским районам эти цифры достигли 33,4 и 7,2 соответственно. Серьезную эпидемическую опасность представляет вторичное микробное загрязнение питьевой воды в городской распределительной сети, находящейся в неудовлетворительном состоянии. Уровень бактериального загрязнения по коли - индексу в 1998 г. составил более 20 % (в 1996 г. - 19 %, в 1997 г. - 17 %), в 114 случаях обнаружены коли-фаги. В результате обработки питьевой воды хлором в ней появляется ряд галогенсодержащих соединений (ГСС), представляющих канцерогенную опасность для человека даже в минимальных концентрациях. На рис. 2 приведены данные по содержанию хлороформа и трихлорэтилена на городских ВОС.

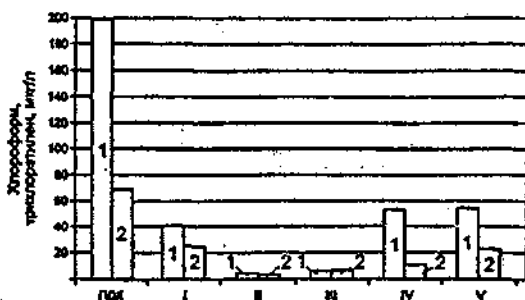


Рис. 2. Среднее содержание хлороформа и трихлорэтилена в РЧВ водопроводных станций г. Н. Новгорода за 1998 г.: I - ОАО ГАЗ (ведомственное), II - «Малиновая гряда»; III - Студийская; IV - Ново - Сормовская; V-Первомайская; 1- хлороформ; 2 - трихлорэтилен

Вторая глава посвящена исследованиям качества речной и питьевой воды за период 1994-2000 гг. и оценке барьерной роли станций водоподготовки. Особое внимание в исследованиях было обращено на максимальное содержание в воде вредных химических веществ. Результаты некоторых анализов на их содержание за 1997-99 гг. в исходной и питьевой воде на станциях приведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальное содержание вредных химических веществ в исходной и питьевой воде станций за 1997-1999 гг.

Показатель	Норматив (ПДК)	Класс опасности	Год					
			1997		1998		1999	
			Исходная вода	РЧВ	Исходная вода	РЧВ	Исходная вода	РЧВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Неорганические вещества</b>								
Алюминий ост.	0,5	2	-	0,5	-	0,5	-	0,5
Бериллий	0,0002	1	0,00005 0,00005	<0,00005 0,00005	0,0001 0,00013	0,00006 0,00006	0,000157 0,000173	<0,00005 0,000137
Бор	0,5	2	н/о	н/о	н/о	<0,2 <0,2	<0,2 <0,2	<0,2 <0,2
Железо общ.	0,3(1,0)	-	1,95 3742	0,25 0,22	2,58 1,47	0,3 0,30	2,08 1,81	0,3 0,3
Кадмий	0,001	2	0,0025 0,00004	0,00093 0,001	н/о 0,00038	н/о 0,00034	н/о	н/о
Марганец	0,1(0,5)	3	<0,2 <0,2	0,061 0,074	0,106 0,12	0,076 0,092	0,166 0,125	0,10 0,10
Медь	0,1	3	0,227 0,236	0,116 0,06	0,36 0,30	0,09 0,17	0,16 0,205	0,075 0,095
Молибден	0,25	2	0,017 0,033	0,011 0,013	н/о 0,02	н/о 0,02	0,085 0,018	0,01 <0,01
Мышьяк	0,05	2	0,015 0,0477	0,02 0,047	0,022 0,011	0,017 0,011	0,04 0,04	0,042 0,024
Никель	0,1	3	<0,005 <0,005	<0,005 <0,005	0,015 0,02	0,011 0,015	0,016 0,02	<0,0 0,018
Ртуть	0,0005	1	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Свинец	0,03	2	0,0185 0,039	0,015 0,010	0,055 0,039	0,007 0,014	0,0475 0,0325	<0,005 0,0096
Селен	0,01	2	0,0005 0,0002	0,0005 0,0002	0,0029 0,0026	0,0018 0,0021	0,001 0,00097	0,00087 0,00094
Стронций	7,0	2	2,0 2,13	1,5 1,0	2,0 1,75	0,8 0,8	1,0 1,0	1,0 1,0
Сульфаты	500	4	100,61 107,4	114,7 120,8	86,0 95757	108,7 113,8	98,1 96,4	101,3 100,0
Фториды	1,2-1,5	2	0,545 0,60	0,455 0,39	0,55 0,61	0,45 0,48	0,58 0,58	0,385 0,36
Хлориды	350	4	44,0 42,75	46,0 43,75	44,8 47,3	45,8 48,3	36,2 32,0	32,8 39,7
Хром	0,05	3	н/о	0,0016 н/о	0,016 0,0183	0,006 0,006	0,004 0,0057	0,0038 0,0138
Цианиды	0,035	2	н/о	н/о	0,005 0,005	<0,005 <0,005	<0,0 <0,001	<0,01 <0,001

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Цинк	5,0	3	0,025 0,04	0,0185 0,0185	0,045 0,044	0,037 0,015	0,023 0,054	0,021 0,048
Органические вещества								
γ-ГХЦ (линдан)	0,002	1	-	-	н/о	н/о	<0,002 0,002	<0,002 0,002
ДДТ (сумма изомеров)	0,002	2	0,001 -	0,001 -	<0,02 0,02	<0,02 0,02	<0,02 0,02	<0,002 0,02
2,4 - Д	0,03	2	-	-	н/о	н/о	<0,002 0,002	<0,002 0,002

Из табличных данных следует, что ртуть, относящаяся к первому классу опасности, не обнаружена как в исходной, так и в питьевой воде. Бериллий, также относящийся к первому классу опасности, в максимальных концентрациях не превышает ПДК. В воде р. Оки обнаружено большое содержание железа (до 3,4 мг/дм<sup>3</sup>), но в РЧВ станций его содержание не превышает ПДК. Марганец в речной воде превышает ПДК в 1,5 раза. Однако после очистки воды он находится на уровне ПДК. В весенне-летний период в исходной воде значительно увеличивается содержание свинца (до 1,5 ПДК), но в питьевой воде его содержание не превышает норму ПДК. Остальные элементы металлов находятся ниже ПДК. Органические вещества (линдан, ДДТ и 2,4-Д) находятся ниже нормативов ПДК. По семи обобщенным показателям (рН, сухой остаток, жесткость общая, окисляемость перманганатная, нефтепродукты, ПАВ и фенольный индекс) питьевая вода отвечает нормативам.

В целом анализ работы станций показывает, что барьерная роль сооруженных исчерпана, т.к. существующие технологические схемы позволяют извлекать из обрабатываемой воды только взвешенные вещества и коллоидные компоненты, а удаление растворенных загрязнений происходит в незначительной степени. Надежность водоподготовки в условиях аварийного загрязнения р. Оки отсутствует. Многочисленными исследованиями установлено, что в воде могут присутствовать токсичные летучие галогенорганические соединения (ЛГС). В основном эти соединения относятся к группе тригалогенметанов (ТТМ): хлороформ, дихлорбромметан, бромоформ и др., обладающие канцерогенной и мутагенной активностью. Процесс образования летучих хлорорганических соединений (ЛХС) при хлорировании воды сложный и продолжитель-

ный во времени. Существенное влияние на него оказывают содержание в исходной воде органических загрязнений, время контакта воды с хлором, доза хлора и рН воды. ЛХС, присутствующие в исходной воде и образовавшиеся при хлорировании, на сооружениях традиционного типа очистки не задерживаются, а концентрируются в РЧВ.

Третья глава посвящена исследованию новых реагентов в процессе очистки воды. В практике водоподготовки на фильтростанциях г. Н. Новгорода в качестве коагулянта широко использовался сульфат алюминия, выпускаемый в РФ и в странах ближнего зарубежья, в городах: Сумы (комовой сульфат алюминия с активной частью до 16,5%), Каменск - Шахтинск (пылевидный сульфат алюминия с активной частью до 10%) и Таллинн - объединение «Эстонфосфорит». Коагулянты имеют ряд существенных недостатков: сульфат алюминия применим в интервалах рН 5-7,5; при его растворении образуется большое количество осадка (у таллиннского коагулянта объем осадка достигал 40% объема раствора) и др. Поэтому интенсивно велись работы по поиску более экономичных и технологичных реагентов для очистки воды. Было испытано большое количество образцов коагулянтов и флокулянтов отечественных и зарубежных фирм, которые хорошо зарекомендовали себя на мировом рынке: «Кемира» (Финляндия), «Аллайд-коллойдс» (Англия), «Штокхаузен» (Германия). Всего было исследовано до 40 образцов коагулянтов и более 30 образцов флокулянтов. Отечественные коагулянты на основе сульфата алюминия имеют активную часть по окиси алюминия 11-17%, а импортные - 16-17%. При исследованиях оптимальные дозы коагулянтов российского производства оказались выше на 5-10%. Импортные коагулянты выпускаются гранулированными, растворяются без осадка, что облегчает приготовление реагентов и позволяет автоматизировать процесс растворения и дозирования, а в свою очередь, автоматизация способствует экономить до 30% коагулянта.

С 1994 г. используется финский сульфат алюминия, выпускаемый фирмой «Кемира» в виде сухого гранулированного порошка плотностью 950 кг/м<sup>3</sup> с размерами гранул 0,5-3 мм. Активная часть коагулянта составляет до

18 %. В период исследований доза коагулянта находилась в пределах 12,5 мг/дм<sup>3</sup> по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В процессе эксплуатации выявились преимущества использования данного коагулянта: сухой способ хранения, более быстрое образование хлопьев, хлопья имеют крупные размеры, значительная экономия коагулянта по товарному продукту до 30%.

Усредненные результаты исследований в течение года представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатель	Исходная вода (река)	РЧВ
Цветность, град	47	13
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	4	0,6
Остаточный алюминий, мг/дм <sup>3</sup>	-	0,34
Щелочность, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1,48	0,82
pH	7,54	6,96

Были исследованы и образцы коагулянтов той же фирмы на основе сульфата алюминия с добавлением железа. При обработке воды этими коагулянтами процесс хлопьеобразования протекает достаточно хорошо, но остается некоторое количество железа в воде после коагуляции, что крайне нежелательно. В лабораториях были опробованы жидкие коагулянты на основе хлорида алюминия российского и импортного производства. Российские образцы коагулянтов на основе хлорида алюминия имеют активную часть по окиси алюминия 10-12%, а импортные - 10-17%, поэтому оптимальные дозы импортных коагулянтов были ниже отечественных.

Параллельно проводились исследования по подбору наиболее экономичных и эффективных флокулянтов. Из синтетических анионных флокулянтов на фильтростанциях широко применяется полиакриламид (ПАА), выпускаемый в г. Дзержинске в виде геля с активной частью 6,5%, в мешках массой 50 кг. Основной недостаток данного флокулянта - низкое содержание активной части. Все промышленные образцы флокулянтов российского производства выпускаются в виде геля активностью от 6,5% (г. Дзержинск) до 40% (г. Волжский и Стерлитамак). Но 40%-е гели очень сложны в эксплуатации, менее технологичны. Импортные флокулянты выпускаются в виде гранул и име-

ют активность около 100%. Гранулированные флокулянты используются при автоматизированном дозировании, позволяя экономить расход флокулянта. С 1995 г. на фильтростанциях исследуется и используется финский флокулянт (фирма «Феннопол»). Он выпускается в виде порошка с активной частью 100% (транспортировка и хранение в мешках массой 20 кг). Применение финского гранулированного флокулянта «Фенол К 211Е», обладающего высокой эффективностью, взамен российского геля позволило сократить количество флокулянта от 600 до 12 т/год.

В четвертой главе приводятся данные по совершенствованию технологических приемов и сооружений существующих технологий водоподготовки и разработке новых технологических схем.

Применение *аммонизации* на ВОС способствует улучшению санитарной надежности по бактериологическим показателям технологических сооружений и распределительной сети города, снижению образования в питьевой воде хлорорганических соединений (до 75%), уменьшению доз хлора (до 50%).

Проведенные исследования в лабораторных и производственных условиях показали, что применение качественных реагентов и режимов коагулирования способствуют увеличению задерживающей способности и длительности защитного действия фильтрующей загрузки. Процесс коагулирования *на смеси* коагулянтов идет значительно быстрее, хлопья крупнее, чем в случае с отдельно взятыми коагулянтами. Оптимальная доза смеси коагулянтов на 20% ниже оптимальной дозы сульфата алюминия и на 30% - дозы хлорида алюминия. *При прерывистом способе* введения коагулянта и флокулянта значительно улучшаются качественные показатели питьевой воды. Вода из реки с мутностью 80 мг/дм<sup>3</sup> и цветностью 60 град фильтровалась с постоянной скоростью 5 м/ч. Коагулирование обрабатываемой воды Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> проводилось в прерывистом режиме: доза коагулянта - 50 мг/дм<sup>3</sup>; время коагулирования - 10 мин; время перерывов коагулирования - 10 мин. В период прекращения подачи коагулянта на фильтр вводится флокулянт (ПАА) дозой 0,65-0,7 мг/дм<sup>3</sup> (на 35% больше дозы, рекомендуемой СНИП). Время флокулирования - 3,5 мин. Время

перерывов подачи флокулянта - 16,5-17 мин. После двухступенчатой очистки вода имела следующие показатели: мутность - 0,37 мг/дм<sup>3</sup> (против 1,18 мг/дм<sup>3</sup> при обработке известным способом); цветность - 10 град (против - 15 град); содержание остаточного алюминия - 0,11 мг/дм<sup>3</sup> (против - 0,37 мг/дм<sup>3</sup>); остаточный флокулянт отсутствует (а.с. № 1742222 от 22.02.1992 г.). Экспериментальные данные представлены на рис. 3.

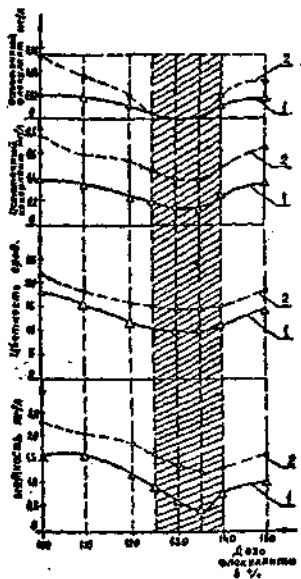


Рис 3. Результаты очистки воды при прерывистом введении реагентов: 1- кривая по предлагаемому способу; 2 - кривая по известному способу

Внедрение на Ново - Сормовской фильтростанции ультразвуковых гидродинамических излучателей (положительное решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2000122939/12 (024434) от 05.09.2000 г.) позволило снизить расход коагулянта на 25 - 30 %.

В 1997- 98 гг. на ВОС «Малиновая гряда» была произведена реконструкция фильтров площадью 110 м<sup>2</sup> с центральными каналами (щелевой дренаж заменен на колпачковый, новой конструкции). Вместо полиэтиленовых щелевых труб были уложены чугунные трубы D= 170 мм с толщиной стенки 10 мм. На каждой трубе через 100 мм были смонтированы щелевые колпачки, распо-

ложенные в шахматном порядке. Величина потерь напора в колпачке составляет 6,5% от потерь напора в распределительной системе при промывке фильтров.

Распределительная система дренажа с колпачками позволила в дальнейшем применить водовоздушную промывку. Для этого к водоводу промывной воды подведен воздух от двух ротационных воздухоудов с параметрами: производительность - 3850 м<sup>3</sup>/ч; развиваемое давление - 0,7 атм; потребляемая мощность - 7 кВт.ч. Применение на станции водовоздушной системы промывки позволило сократить расход промывной воды на 30%, с одновременным улучшением отмывки фильтрующего материала.

В конце 1997 г. на фильтростанции «Малиновая гряда» была пущена в эксплуатацию озонаторная станция. На ней установлены три генератора озона фирмы «Озония» (Швейцария), мощностью 300 кВт каждый, с диэлектриками, изготовленными по АТ - технологии. Номинальная производительность одного генератора озона составляет 30 кг/ч (минимальная - 3 кг/ч, при форсированном режиме до 42 кг/ч). Технологическая схема озонаторной станции приведена на рис. 4.

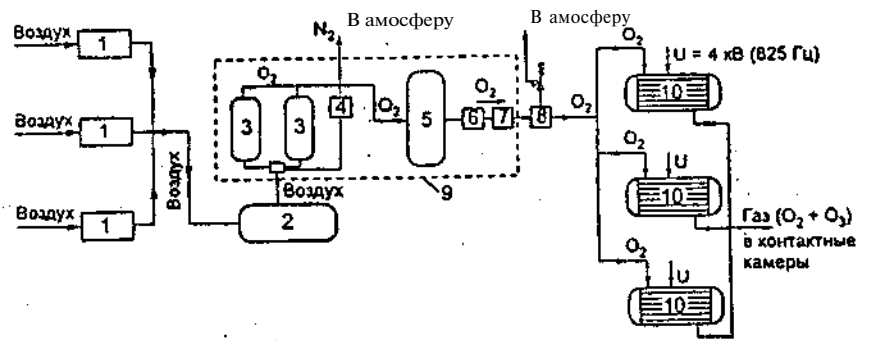


Рис. 4. Технологическая схема озонаторной станции: 1 - компрессор; 2,5 - ресиверы; 3 - адсорбер; 4 - фильтр; 6 - пылевой фильтр; 7 - редуктор давления; 8 - предохранительный клапан; 9 - кислородная установка PSA; 10 - трубчатый генератор озона



Внедрение озонирования на станции дало положительные результаты. Его преимущество особенно проявилось в осенне-зимний период 1998-99 гг. Исходная вода р. Оки имела повышенные мутность (до 15 мг/дм<sup>3</sup>), окисляемость (до 10-12 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) и цветность (до 40 град), которые были не присущи ей за последние годы.

Технология обработки такой воды требует высоких доз коагулянта (до ПО мг/дм<sup>3</sup> по товарному продукту). При этой дозе показатели очищенной воды составляли: цветность - 14 град; окисляемость - 4,8 - 5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>; мутность - 0,8 - 1,0 мг/дм<sup>3</sup>; остаточный алюминий - 0,28 - 0,32 мг/дм<sup>3</sup>. Преозонирование (дозой 4 мг/дм<sup>3</sup>) позволило снизить дозу коагулянта до 5-7 мг/дм<sup>3</sup> и получить высокие показатели обработанной воды на первой стадии: по цветности (до 10-11 град) и окисляемости (до 4,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). Дальнейшая обработка воды коагулянтом дозами (5-7 мг/дм<sup>3</sup>) приводила к более глубокой степени её очистки: окисляемость снижалась до 4,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>; цветность - до 7 град; мутность и алюминий обнаруживались в пределах чувствительности методик. Затраты на водоподготовку снизились до 60%.

Особенно важно, что при озонировании воды на 75% снижается содержание хлороформа и других канцерогенных галогенсодержащих соединений. В летний период 1999 г. на станции были снижены дозы реагентов (коагулянта - на 20%; хлора - на 14%), при которых цветность воды уменьшилась на 53%, окисляемость - на 16%. Содержание хлороформа в питьевой воде сократилось в два раза. В настоящее время ведется отладка оборудования озонаторной на Слудинской ВОС, которая будет работать по аналогичной схеме озонирования.

В 60-х и начале 70-х годов станции питьевой воды за рубежом при использовании поверхностных источников проектировались и строились в соответствии с принципиальной схемой, представленной на рис.5,а. Из приведенной схемы, очевидно, что прехлорирование воды было практически постоянным.

Новая «типовая» принципиальная технологическая схема, включающая физико-химические и биологические процессы, представлена на рис. 5,б. Она является наиболее совершенной при обработке поверхностных вод, загрязненных различными веществами, предшественниками тригалогенметанов. В схеме предусматривается предварительное озонирование, глубокая доочистка парой « $O_3+ГАУ$ » в сочетании с современными техническими средствами высокоэффективного осветления воды.

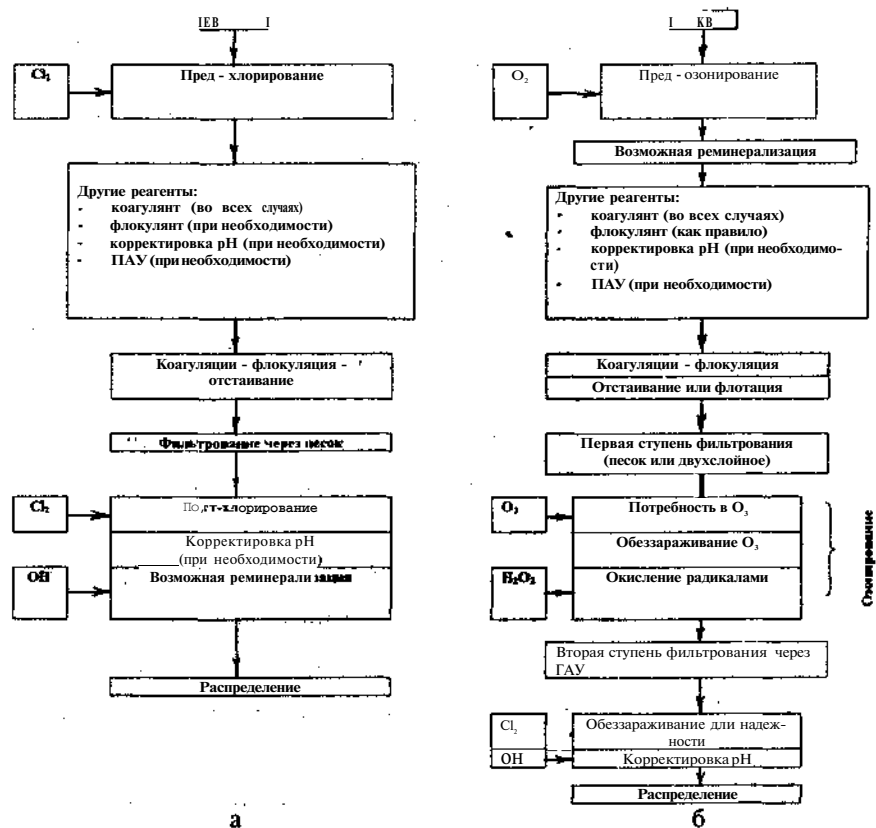


Рис. 5. Типовые технологические схемы подготовки воды из природных источников за рубежом: а - типовая схема обработки поверхностных вод в 60 - 70 -х гг.; б - типовая, схема обработки поверхностных вод в 90-х гг.

Пилотные испытания по типовой схеме (рис.5, б), проведенные фирмой «ДЕГРЕМОН» совместно с МПП «Мосводоканал», дали положительные результаты.

Накопленный опыт по озонированию (более 20 лет на Автозаводской водопроводной станции и три года на «Малиновой гряде»), а также отечественные и зарубежные исследования показывают, что при обработке воды из поверхностных источников, подверженных значительному антропогенному воздействию, целесообразна замена первичного хлорирования озонированием. Принципиальная технологическая схема обработки воды при его применении приведена на рис. 6. На случай чрезвычайной ситуации (большое содержание в исходной воде нефтепродуктов, фенолов и др.) схема дополняется узлом адсорбционной очистки и вторичным озонированием.

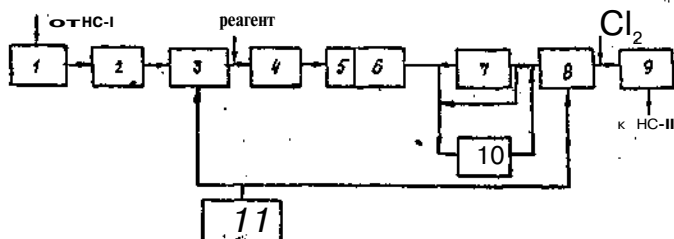


Рис. 6. Принципиальная технологическая схема обработки воды: 1 - биопоглодитель; 2 - микро-фильтр; 3 - контактная камера первичного озонирования; 4 - смеситель; 5 - камера хлопьеобразования; 6 - отстойник; 7 - фильтр; 8 - контактная камера вторичного озонирования; 9 - РЧВ; 10 - фильтр с АУ; 11 - озонаторная

Для уничтожения запахов и привкусов в исходной воде и получения высококачественной питьевой воды может быть рекомендована технологическая схема, которая приведена на рис. 7.

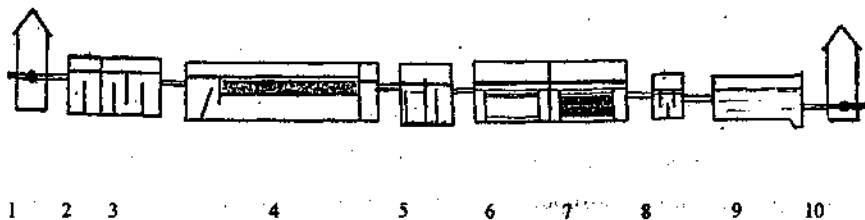


Рис. 7. Технологическая схема для получения качественной воды I- НС-I; 2 - камера углеродирования; 3 - смеситель; 4 - тонкослойный отстойник; 5 - камера озонирования; 6 - осветлительный фильтр; 7 - сорбционный фильтр; 8 - камера для вторичного хлорирования; 9 - РЧВ; 10 - НС-II

В пятой главе изложены принципы оптимизации и технологического перевооружения станций водоподготовки. При определении долгосрочного планирования необходимо учитывать всю гамму разнообразных параметров, характеризующих работу станции, а при анализе стоимостных показателей элементов ВОС - также и основные конструктивные и технологические характеристики. Тогда целевая функция имеет следующий вид:

$$S = P(S_{\text{в}} + S_{\text{НС-I}} + S_{\text{х.л}} + S_{\text{см}} + S_{\text{ПАА}} + S_{\text{осв}} + S_{\text{ф}} + S_{\text{РЧВ}} + S_{\text{НС-II}}) + S_{\text{р}} + S_{\text{СТ.Э}} + S_{\text{а}} + S_{\text{ТР}} - S_{\text{см.о.}}, \quad (1)$$

где  $S_{\text{в}}$  - стоимость водозабора;  $S_{\text{НС-I}}$  - стоимость насосных агрегатов первого подъема;  $S_{\text{х.л}}$  - стоимость хлораторной;  $S_{\text{см}}$  - стоимость смесителя;  $S_{\text{ПАА}}$  - стоимость отделения флокулирования;  $S_{\text{осв}}$  - стоимость осветлителей;  $S_{\text{ф}}$  - стоимость фильтров;  $S_{\text{РЧВ}}$  - стоимость резервуара чистой воды;  $S_{\text{НС-II}}$  - стоимость насосных агрегатов второго подъема;  $S_{\text{р}}$  - стоимость реагентов;  $S_{\text{СТ.Э}}$  - стоимость электроэнергии;  $S_{\text{а}}$  - амортизационные отчисления;  $S_{\text{ТР}}$  - стоимость текущего ремонта;  $S_{\text{см.о.}}$  - стоимость очищенной воды.

С целью улучшения работы ВОС вводят критерий её работы. Одним из критериев исследования подобных систем является определение минимально допустимой рентабельности. Пусть  $E$  - предельный уровень рентабельности, равный максимальному экономическому эффекту, после достижения которого эксплуатация объекта нецелесообразна. Тогда минимум  $S(t)$  определяется из выражения

$$\frac{d}{dt}(\ln S(t)) = E, \quad (2)$$

где  $E$  - предельная рентабельность.

Стоимость насосных агрегатов  $S_{\text{Н.а.}}$  (р.) производится на основе усредненной стоимости насосного оборудования на 1 кВт установленной мощности КН:

$$S_{\text{Н.а.}} = K \cdot N, \quad (3)$$

где  $N$  - мощность электродвигателя насоса.

$S_{\text{Н.а.}}$  может также определяться по преискурранту цен на насосы, электродвигатели и арматуру. Насосы следует выбирать с определенной рабочей характеристикой, при которой  $S_{\text{Н.а.}} \rightarrow \min$  при требуемой подаче воды. При определении стоимости электроэнергии используется выражение

$$S_{\text{см.э.}} = \delta' T \left( \frac{\tau + 0,5\theta}{60} \right) \cdot N, \quad (4)$$

где  $\delta'$  - стоимость 1 кВт электроэнергии, (р.);  $T$  - общая продолжительность работы насосной станции в году, (день),  $\tau$  - продолжительность работы насосов в течение суток, (мин);  $\Theta$  - число включений насоса в течение суток.

При заданной скорости фильтрования ( $q$  м<sup>3</sup>/мин) осветлители и фильтры за время  $T$  пропускают объем воды:  $V = qT$ . На 1 м<sup>3</sup> воды требуется  $\eta_1$  (кг) коагулянта,  $\eta_2$  (кг) хлора и  $\eta_3$  (кг) флокулянта. Тогда стоимость реагентов при обработке воды составит

$$S_a = qT\eta_1\alpha_1; S_{cl} = qT\eta_2\alpha_2; S_f = qT\eta_3\alpha_3, \quad (5)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  - стоимость одного килограмма коагулянта, хлора и флокулянта, р.

Необходимая мощность насосных агрегатов определяется из условий наибольшего и наименьшего недопотребления

$$Q_{сут. макс} = K_{сут. макс} \cdot Q_{сут. ср.}; Q_{сут. мин} = K_{сут. мин} \cdot Q_{сут. ср.}, \quad (6)$$

где  $Q_{сут. ср.}$  - средний за год суточный расход воды, (м<sup>3</sup>/сутки);  $K_{сут.}$  - коэффициент суточной неравномерности водопотребления.

В соответствии с существующими рыночными отношениями рентабельность предприятия определяется спросом на текущий момент времени. Для своевременного определения минимальных затрат необходимо прогнозировать будущие цены. Рыночная цена продукта определяется по производственной кривой. Обычно производственная функция имеет вид

$$y = \prod_{i=1}^k x_i^{\alpha_i} \quad i \in [1; k]. \quad (7)$$

Предельная норма трансформации по отдельно взятым факторам равна  $MRT = \prod_{i=1}^k \left( \frac{dx_i^{\alpha_i}}{dx_i} \right)$ . Условием равновесия на рынке является равенство предельной нормы трансформации отношениям цен факторов (сырья) и продукта

$MRT = \prod_{i=1}^k \left( \frac{P_x}{P_y} \right)$ . Отсюда (при существующих ценах на факторы производства)

определяется рыночная цена на производимую продукцию

$$P_y = \sqrt{\prod_{i=1}^k (P_x) / MRT}. \quad (8)$$

**Шестая глава** посвящена исследованию состояния водопроводных систем и их прогнозированию. При решении технических задач важную роль играют алгоритмы по прогнозированию будущего состояния объекта (водопроводная система). Большое количество различных методов свидетельствует, как о неопределенности решения поставленной задачи, так и о различных свойствах технологических процессов. Наиболее точному прогнозированию удовлетворяют процессы, называемые линейно-сингулярными. К ним относятся процессы с ограниченным спектром:  $\xi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\lambda t} \phi(d\lambda)$  ( $w < \infty$ ). Такой процесс  $\xi(t)$  является аналитическим, так что при любом  $t$  может быть представлен в виде

$$\xi(t) = \sum_1^{\infty} \frac{1}{m!} \xi^{(m)}(t_0) (t - t_0)^m. \quad (9)$$

Сингулярными являются и процессы с дискретным спектром:  $\xi(t) = \sum_{\lambda \in \Omega} e^{i\lambda t} \phi(\lambda)$ , где суммирование идет по некоторому конечному или счетному множеству  $\Omega$  точек  $\lambda$  изучаемого процесса  $\xi(t)$ . С вероятностью, равной единице, каждая траектория является почти периодической функцией и по своим значениям на временной полуоси может быть целиком восстановлена.

В качестве метода прогнозирования предлагается применить метод распространения функций, по которому представленная на каком-либо отрезке функция в виде полинома  $P(t)$  может быть распространена в виде

$$S(t) = P(t) + (t - a)^{n+1} q(t), \quad (10)$$

где  $a$  - одна из точек предыдущего интервала.

Определение микроэкономической деятельности предприятия осуществлялось на основе модели Кобба - Дугласа, которая имеет вид

$$Z = Ax^{\alpha} y^{\beta}, \quad (11)$$

где  $Z$  - результат производства;  $x, y$  - факторы производства;  $A$  - остаток Абрамовиша;  $\alpha, \beta$  - коэффициенты эластичности по соответствующему фактору.

**Коэффициенты эластичности определяются из следующего уравнения:**  $[H(a) + H(b)] = (\alpha + 1)(a^{\alpha} + b^{\alpha}) / (b^{\alpha+1} - a^{\alpha+1})$ , а при  $a=0$ ,  $\alpha = [bH(a) + H(b)] - 1$ . Аналогично определяется  $\beta$ .

По реальным результатам (за последние 8 лет) определялись двумерные зависимости, где под факторами производства понимались объем питьевой воды и общая стоимость реагентов, а под продукцией - общая стоимость питьевой воды. Значения величин были заключены в интервалах:

$$\begin{aligned} W &\in [97542 \text{ тыс м}^3; 122096 \text{ тыс м}^3]; \\ C &\in [5,1953; 8,379]; \\ C_p &\in [4,5912; 7,4291], \end{aligned} \quad (12)$$

где  $W$  - объем поданной питьевой воды;  $C$ ,  $C_p$  - общая стоимость питьевой воды и реагентов (представлены в виде логарифмов от величин).

С целью определения коэффициентов эластичности были составлены уравнения для трех наиболее характерных точек области определения. Предполагалось заранее, что функция имеет вид  $C = AC_p^\alpha W^\beta$ . Тогда система уравнений для характерных точек выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} 5,184 = A \cdot 4,5112^\alpha \cdot 109819^\beta; \\ 6,7083 = A \cdot 5,9614^\alpha \cdot 97542^\beta; \\ 5,1353 - A \cdot 4,5912^\alpha \cdot 97542^\beta = 8,379 - A \cdot 7,4291^\alpha \cdot 122096^\beta. \end{cases} \quad (13)$$

Для определения величин  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $A$  система (13) предварительно линеаризировалась путем развертки сомножителей в ряд Тейлора в точке ноль, а затем решалась методом подстановок. Были получены два решения в виде:

$$\alpha_1 = -1,3051, \beta_1 = -0,1984, A_1 = 3702,86; \quad \alpha_2 = -3,4902, \beta_2 = -0,3509, A_2 = 51840.$$

Тогда модели для определения объемов питьевой воды имеют следующий вид

$$\begin{aligned} W &= 3702,86 \cdot C_p^{-5,5781} \cdot C^{-5,0403}, \\ W &= 51840 \cdot C_p^{-3,9464} \cdot C^{-2,8498} \end{aligned} \quad (14)$$

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Рост экологической напряженности требует значительного внимания к решению актуальной проблемы обеспечения населения доброкачественной питьевой водой. Проведенными исследованиями выявлено влияние природных загрязнений на процессы водоподготовки, показана недостаточная барьерная роль очистных сооружений, работающих по «классической» технологии полу-

чения питьевой воды (прехлорирование, реагентная обработка, отстаивание, фильтрование на скорых фильтрах, вторичное хлорирование). Пре- и постхлорирование на ВОС приводят к образованию галогенсодержащих соединений и токсичности питьевой воды. Значительная трансформация качества питьевой воды может происходить при её транспортировке от водопроводных станций до потребителя.

2. Для обеспечения качества питьевой воды до требований СанПиНа, при условии невозможности полной защиты р. Оки от поступающих в неё загрязнений, необходимо провести комплекс мероприятий по повышению барьерной роли существующих сооружений ВОС.

3. Разработанные мероприятия направлены на поэтапное достижение соответствия качества питьевой воды новым нормативным требованиям и разделены на три основных блока:

- повышение барьерной роли очистных сооружений фильтростанций;
- предотвращение ухудшения воды в распределительной сети;
- обработка промстоков и осадка фильтростанций.

4. На первом этапе проводимых мероприятий обеспечивается соответствие качества питьевой воды новым нормативам по микробиологическим и органолептическим показателям путем глубокого осветления воды (усиление окислительной обработки воды за счет озонирования, реконструкции фильтров, усовершенствования коагуляционной обработки при применении новых коагулянтов и флокулянтов, в т.ч. и зарубежных, применения сорбционных угольных фильтров в сочетании с озонированием и т.д.).

5. Одновременное достижение безопасности, безвредности и обеспечение качества воды, соответствующего нормативам по всем показателям, возможно только при реализации мероприятий по внедрению новых технологий и приемов на всем комплексе водопроводной станции.

6. Внедрение новых технологий и приемов водоподготовки должно осуществляться одновременно с их техническим обеспечением (организацией производств в стране выпуска высокоэффективных коагулянтов и флокулянтов, эле-



ментов тонкослойных модулей, озонаторного оборудования, порошкообразных и гранулированных сорбентов и блоков по их регенерации).

7. Представление водопроводной очистной станции в виде сложной системы охватывает вопросы остаточного ресурса, надежности и экономического состояния предприятия.

8. Остаточный ресурс определяется на основе свойств многомерных полиномиальных моделей при различных уровнях нагрузок. Решение проблемы сводится к определению геометрических размеров аттракторов и их изменению во времени. Аттракторы могут образовываться как для всей системы в целом, так и для отдельных агрегатов, блоков и их компонентов. Отдельного подхода требует многомерный случай, отражающий причинно-следственные связи между отдельными элементами водопроводной станции.

9. Вопросы технологии очистки воды нашли свое количественное отражение в примененных методах теории надежности. Вся система разбивалась на ряд подсистем, основные параметры которых определялись на основании опытных данных. Возможные аварийные события рассматривались с учетом существующих реальных ситуаций. Анализ показал, что основной опасностью для водопроводных станций является технический отказ одной из подсистем, а также внезапный отказ всей системы в целом.

10. Прогнозирование экономических показателей производства осуществляется с учетом современных методов рыночной экономики. При анализе выделялись два периода: краткосрочный и долгосрочный. Для каждого периода строились производственная функция и функция издержек. Анализ возможного развития производства производится на основании соотношения между отпускной ценой питьевой воды и максимальными расходами. Долгосрочный прогноз осуществлен с применением средних издержек. При более глубоком двумерном анализе применялась функция Кобба — Дугласа. Коэффициенты эластичности определяются по предложенной методике на основании опытных данных. Приведенный анализ позволяет прогнозировать объемы требуемой питьевой воды.

11. Применение предложенных методов на всех водопроводных станциях улучшит водохозяйственный баланс, создаст резерв воды за счет удельного потребления и снизит количество потерь воды. Решение задач прогнозирования требует существенного развития системы мониторинговых наблюдений.

12. Основные результаты исследований внедрены в учебный процесс и в производство. В результате реализации их в производственный процесс достигнуты экономический и экологический эффект от внедрения на ВОС МУП «Водоканал» г. Н. Новгорода в сумме 11343 тыс. руб.

**Основные положения диссертации отражены в следующих работах:**

1. Способ очистки природных вод: А.С. 1742222 СССР. С 02 F1/52 /Ю.И. Коллодный, А. Д.Жмудь, А. Н. Луков и др. - Заявл. 19.05.89, Опубл. 23.06.92.- Бюл. №23.-5 с.: ил.
2. Луков А. Н. О реконструкции дренажной системы фильтров/ Е. А. Горбачев, А.Н. Луков //Проблемы инженерного обеспечения и экологии городов: Материалы международной науч.- практической конф.- Пенза, 1999.- С. 75-77.
3. Луков А. Н. Исследование новых реагентов в процессе водоподготовки/Е. А. Горбачев, А. Н. Луков //Проблемы инженерного обеспечения и экологии городов: Материалы международной науч.- практической конф.- Пенза, 1999. С. 77-79.
4. Луков А.Н. Опыт использования озона для подготовки питьевой воды в Нижнем Новгороде / А. Н. Луков, Н. П. Макаров, В. В. Найденко и др. // Водоснабжение и санитарная техника. - 2000.- №1, С. 941.
5. Луков А. Н. Озонирование в подготовке питьевой воды на ВОС «Малиновая гряда» /А.Н. Луков, Е. А. Горбачев //Проблемы водного хозяйства и экологии водных бассейнов: Материалы Всероссийской науч.- практической конф.- Пенза. 2000. С. 21-23.
6. Луков А. Н. Микроэкономические параметры при исследовании работы водопроводных очистных станций г. Нижнего Новгорода./В.Н. Дементьев, А. Н. Луков, Е. А. Горбачев // Проблемы водного хозяйства и экологии вод-

ных бассейнов: Материалы Всероссийской науч.- практической конф.- Пенза, 2000. С.23-27.

7. Луков А. Н. Совершенствование технологии получения качественной питьевой воды на ВОС г. Нижнего Новгорода. /Е.А.Горбачев, А.Н.Луков //Городское хозяйство и экология. - 2000. - №2.- С. 14-21.
8. Луков А. Н. Метод определения оптимальной технологии на водопроводной станции с помощью функции Кобба - Дугласа /А. Н. Луков, Е. А. Горбачев, В. Н. Дементьев и др. //Городское хозяйство и экология.-2000.-№2.- С. 43-48.
9. Луков А. Н. Хлорирование воды с аммонизацией. /А. Н. Луков // Архитектура и строительство: Тез. докл. науч. -технической конф. проф. - преподавательского состава, докторантов, аспирантов и студентов ННГАСУ/ - Н. Новгород: ННГАСУ, 2000. Ч.6.- С. 35-36.
10. Луков А. Н. Исследование новых реагентов на водопроводных станциях Н. Новгорода./А.Н.Луков// Архитектура и строительство: Тез. докл. науч. -технической конф. проф. - преподавательского состава, докторантов, аспирантов и студентов ННГАСУ/. Н. Новгород ННГАСУ, 2000. ч.б.- С.35-37.
11. Способ очистки воды: Решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2000122939/12 (024434) от 05.09.2000/ Р.Г. Саруханов, В. В. Пучков, А. Н. Луков и др. - Заявл. 05.09.2000. - 7 с.: ил.

Лр№ 0208 от 21.09.1998 г.

---

Подписано в печать 28 мая 2001 г. Формат 60 х 90 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Объем 1 печ.л.

Тираж 100 экз. Заказ № 142

---

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет  
603600, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65

---

Полиграфический центр ННГАСУ, 603600, Н. Новгород, Ильинская, 65