

Модели Фелпса-Стритера, Герберта дают качественное совпадение с результатами экспериментальных исследований различных авторов в биоканалах и аэрационных сооружениях. Для практических целей целесообразно использовать инженерно-экологическую модель Фелпса-Стритера.

Здесь не рассматривается применение более сложных гидродинамических моделей с учетом модели замыкания, которые приведены в [5].

1. Романенко В.Д., Оксик О.П., Жукинский В.А., Стольберг Ф.В., Лаврик В.И. Экологическая оценка воздействия гидродинамического строительства на водные объекты. - Институт гидробиологии. АН УССР. - К.: Наукова думка, 1990 - 236 с.

2. Истомина Л.П., Нетохайло А.П., Ушакова Л.Н., Шеренков И.А. К вопросу о моделировании очистки сточных вод в аэротенке // Водные ресурсы. - 1979. - №4. - С. 196-202.

3. Истомина Л.П., Литвин О.Н., Нетохайло А.П., Ушакова Л.Н., Шеренков И.А. Расчет распределения концентрации растворенного кислорода по длине аэротенка // Водоснабжение, канализация, гидротехнические сооружения. Вып.19. - К.: Будівельник, 1976.

4. Нетохайло А.П., Смирнова Г.Н., Ярошенко Л.Н. Прогноз качества воды в водотоках, водоемах и морях как приемниках сточных вод на основе методов математического моделирования: Уч. пособие. - К.: ИСИО, 1993. - 188 с.

5. Нетохайло А.П., Исакиева О.Г. Плавающие струи и "плумы" в неоднородном по скорости и плотности сносимом потоке несжимаемой жидкости // Науковий вісник будівництва. Вип.6. - Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 1999. - С.131-133.

*Получено 29.05.2002*

УДК 628.16

**В.В.ПАБОЛКОВ**

ТПО "Харьковкоммунпромвод"

### **ОЧИСТКА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ОТ БАКТЕРИАЛЬНОГО И ВИРУСНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Приводятся результаты лабораторных исследований с использованием современного высокотехнологического УФ-оборудования НПО «ЛИТ» для дезинфекции питьевой воды на сооружениях водоподготовки ТПО "Харьковкоммунпромвод".

Полная дезинфекция питьевой воды и 100%-ное удаление из нее микробного загрязнения гарантируют предотвращение массовых заболеваний населения острыми кишечными инфекциями – дизентерией, энтероколитами, брюшным тифом, паратифами, вирусными гепатитами А и Е и другими энтеровирусными инфекциями [1]. Но решение этой проблемы в последнее время сильно усложняется практически повсеместным резким ухудшением качества воды поверхностных водоисточников по микробиологическим показателям. Все чаще обнару-

живаются пробы исходной воды, не соответствующие по вирусологическим и бактериологическим параметрам требованиям нормативных документов [2, 3]. При этом в Украине доля поверхностных вод в общем объеме водозабора составляет до 70% [4].

Поэтому в последнее время повышаются требования к качеству питьевой воды. В новые санитарные правила и нормы Украины «Вода питна» [5] включен ряд дополнительных микробиологических показателей, подлежащих контролю, в том числе коли-фаги – косвенный показатель вирусного загрязнения и термотолерантные колиформы – показатель свежего фекального загрязнения. Применяемые в Украине на подавляющем большинстве предприятий водоснабжения традиционные методы и процессы обработки воды не всегда в состоянии обеспечить требуемую степень очистки по этим новым показателям.

Поэтому ведется постоянный поиск принципиально новых технологий для повышения санитарной надежности сооружений водоподготовки и сохранения нормативного качества питьевой воды при ее транспортировке к потребителю.

В настоящее время наиболее распространенным методом обеззараживания является применение хлора и его соединений.

Основы метода хлорирования были разработаны в 60-х годах и были ориентированы на инактивацию индикаторных бактерий группы кишечной палочки и снижение общего микробного числа. Но последние исследования показали, что, даже если обработка воды хлором приводит к снижению содержания индикаторных бактерий группы кишечной палочки до регламентируемого уровня, устойчивые формы микроорганизмов, и в первую очередь вирусы, могут попадать в городскую водораспределительную сеть [6].

Как указано в работе [7], для очистки воды от микробиологических загрязнений, устойчивых к действию хлорреагентов (вирус гепатита А или цисты лямблий), необходимо увеличивать время контакта воды с хлором от 0,5 до 3 ч при содержании остаточного хлора в воде 0,5-0,6 мг/л.

Кроме того, при хлорировании воды образуются хлорорганические соединения (ХОС). С целью обеспечения здоровья населения во многих странах введены государственные нормативы, ограничивающие содержание ХОС в питьевой воде.

ДержСанПиН «Вода питна» содержание хлорорганических соединений в питьевой воде ограничивает следующими величинами:

- суммарное содержание тригалометанов – 0,1 мг/л;
- хлороформ – 0,06 мг/л;
- четыреххлористый углерод – 0,002 мг/л;

- хлордибромметан – 0,01 мг/л.

В нормативах многих развитых стран в качестве перспективной цели определяется полное отсутствие ХОС, а допустимое суммарное содержание ХОС во многих странах намного ниже, чем в Украине (Германия – 0,01 мг/л, Швейцария – 0,025 мг/л, Швеция – 0,05 мг/л, США – 0,08 мг/л).

Процесс образования ХОС при хлорировании воды довольно сложен. Он зависит от ряда факторов: дозы хлора, концентрации в воде органических веществ, времени контакта, температуры, щелочности, наличия в воде аммиака и др. Главной причиной образования ХОС является окисление хлором содержащихся в природной воде органических гуминовых и фульвокислот, а также водорослевых метаболитов.

Как правило, к росту содержания ХОС в питьевой воде приводит увеличение количества подаваемого хлора и/или увеличение содержания общего органического углерода.

Наиболее интенсивное образование ХОС происходит при предварительном хлорировании, когда высокие дозы хлора подаются в неочищенную воду, содержащую значительное количество органических веществ.

В целом, анализ основных известных факторов, влияющих на образование ХОС, показывает следующее:

1. Как правило, увеличение содержания общего органического углерода в воде (величины ХПК - бихроматной окисляемости) приводит к росту содержания ХОС. При этом, численное значение количества ХОС, образующихся после обработки хлором разных вод при близких значениях перманганатной окисляемости, отличаются довольно значительно, что указывает на решающую роль структуры водного гумуса.

2. При наличии в воде аммиака хлор активнее взаимодействует с аммонийными ионами, чем с органическими веществами, в результате ХОС не образуются. Поэтому замена хлора хлораминами позволяет на порядок (в 8-10 раз) снизить содержание тригалогенметанов.

3. При дальнейшем увеличении дозы хлора на этапе разрушения хлораминов появляется свободный хлор и быстро образуются ХОС. В дальнейшем, количество образующихся ХОС стремится к предельной величине полного насыщения всех активных центров органических веществ.

4. Основная часть ХОС образуется в течение первых 2-4 часов после ввода хлора. Полностью процесс завершается в течение нескольких суток.

5. Образованию ХОС способствует щелочная среда, так как для конечной стадии реакции требуется основание.

Молекулы ХОС имеют относительно небольшие размеры и с тру-

дом поддаются удалению обычными методами очистки воды. Поэтому основные усилия специалистов направлены не на удаление, а на предотвращение образования ХОС.

В настоящее время предложено два основных метода предупреждения образования ХОС:

- коррекция схемы хлорирования;
- отказ от применения хлора как основного метода обеззараживания воды.

Коррекция схемы хлорирования предполагает отказ от подачи высоких доз хлора в неочищенную воду и перенос места ввода основной его части в конец технологической схемы. При выборе данной схемы важным требованием является удаление органических соединений – предшественников образования ХОС – до ввода хлора. Отказа от предварительного хлорирования и переноса подачи основной дозы хлора в конец очистных сооружений обычно вполне достаточно для решения проблемы образования ХОС. Однако это ведет к значительному снижению эффективности обеззараживания воды и снижению барьерной роли очистных сооружений.

Таким образом, свойственные хлорированию недостатки послужили причиной для развития и внедрения альтернативных методов обеззараживания.

Одним из реальных практических методов, обладающих необходимым потенциалом обеззараживания воды и прошедших проверку на действующих крупномасштабных сооружениях водоподготовки, является обработка ультрафиолетовым (УФ) излучением. Этот метод имеет ряд преимуществ перед другими методами обеззараживания:

- УФ излучение уничтожает возбудителей таких инфекционных болезней, как тиф, холера, дизентерия, вирусный гепатит, полиомиелит и другие вирусы, которые не поддаются воздействию хлора;
- УФ обеззараживание происходит за счет фотохимических реакций внутри микроорганизмов, поэтому на его эффективность изменение характеристик воды, например рН и температура, оказывает наименьшее влияние, чем при обеззараживании химическими реагентами;
- после воздействия УФ излучения в воде не образуются вредных органических соединений и остаточных количеств дезинфектанта, что позволяет значительно упростить контроль за процессом обеззараживания;
- УФ излучение не влияет на органолептические свойства воды;
- метод безопасен для людей, отсутствует необходимость создания складов токсичных хлорсодержащих реагентов;
- УФ оборудование компактно, требует минимальных площа-

дей, его внедрение возможно в действующие технологические процессы очистных сооружений;

- простота в эксплуатации. Требуется только периодическая очистка поверхности кварцевых чехлов и замена ламп по мере выработки ресурса, не требуется применение вспомогательных устройств и специального обслуживающего персонала;

- для обеззараживания УФ излучением характерны более низкие, чем при хлорировании, эксплуатационные расходы.

Для обеззараживания воды применяются в основном два типа УФ излучателей (бактерицидных ламп): ртутные газоразрядные лампы низкого (НД) и высокого давления (ВД) (см. табл.1).

Таблица 1 – Сравнительные характеристики ламп низкого и высокого давления

№	Параметр	Лампы НД	Лампы ВД
1.	КПД преобразования электрической энергии в бактерицидную	До 40%	6-8%
2.	Единичная мощность лампы	До 300 Вт	до 10 кВт
3.	Рабочая температура поверхности	40÷140 °С	более 600 °С
4.	Срок службы	до 16 000 ч	до 5 000 ч
5.	Спад интенсивности излучения к концу срока эксплуатации	15-30%	30-50 %
6.	Предотвращение генерации озона	Возможно	Невозможно

Высокая единичная мощность ламп ВД позволяет снизить их количество в УФ установке, упростить ее конструкцию и уменьшить ее габариты. Однако это достигается существенным увеличением затрат электроэнергии. Также лампы ВД с высокой энергией излучения и «размытым» спектром излучаемых волн наряду с бактерицидным эффектом обладают побочными негативными эффектами:

- эффектом окислительного воздействия;
- эффектом озонобразования в окружающем воздухе.

Последствием окислительного воздействия на обрабатываемую воду является процесс интенсивного загрязнения кварцевых чехлов под действием излучения, что снижает КПД и срок использования ламп.

Лампы НД, по сравнению с лампами ВД, обладают:

- более высоким КПД преобразования электрической энергии в бактерицидную;
- более длительным сроком службы;
- низким эффектом преобразования электрической энергии в тепловую;
- значительно более низкой рабочей температурой поверхности лампы;
- низким эффектом окислительного воздействия;

- низким эффектом озонобразования.

Схема, в которой УФ облучение в качестве основного метода обеззараживания применяется совместно с традиционными этапами физико-химической очистки и подачей небольших доз хлорсодержащих реагентов перед распределительными сетями для предотвращения роста микроорганизмов в сетях, является наиболее распространенной.

При этом, исходя главным образом из экономических соображений, стараются разместить УФ оборудование в конце очистных сооружений, чтобы облучению подвергалась вода, имеющая наиболее высокий коэффициент пропускания УФ излучения.

Однако размещение УФ комплексов на стадии первичного хлорирования позволяет обеспечить обеззараживание поступающей на сооружения воды до нормативных требований и решить проблему образования ХОС.

По схеме с расположением УФ обработки на заключительном этапе водоподготовки работают очистные сооружения в Форте Бентон (США) производительностью 7500 м<sup>3</sup>/сут, использующие воду р.Миссури. Доза облучения в УФ установках 25-40 мДж/см<sup>2</sup>. В качестве вторичного обеззараживания применяется хлорирование дозами до 1 мг/л.

УФ комплекс в конце очистных сооружений суммарной производительностью до 55 000 м<sup>3</sup>/сут и дозой УФ облучения не менее 20 мДж/см<sup>2</sup> на р.Темза (Англия) успешно эксплуатируется с 1987 г. В качестве консервирующего реагента применяется хлор.

УФ комплекс производства НПО «ЛИТ» на очистных сооружениях Автозаводского района г.Тольятти, забирающих воду из Куйбышевского водохранилища, производительностью 400 000 м<sup>3</sup>/сут и дозой УФ облучения 35-55 мДж/см<sup>2</sup> расположен на начальном этапе очистки воды. Результаты работы комплекса в 1998-2000 гг. выявили, что применение УФ облучения позволило полностью отказаться от предварительного хлорирования в холодное время года и более чем в 4 раза (с 6 мг/л до 1-1,5 мг/л) сократить дозу его подачи в летнее время. За счет сокращения дозы хлора более чем в 2 раза снизилось содержание ХОС в питьевой воде.

Накопленный опыт эксплуатации УФ установок различной производительности от 0,5 до 2 000 м<sup>3</sup>/час был отражен в работе [8]. В частности, указывается, что установки должны быть оснащены:

- датчиками измерения интенсивности УФ излучения в камере обеззараживания;
- системой автоматики, гарантирующей звуковой и световой сигналы при снижении минимальной заданной дозы;

- счетчиками времени наработки ламп и индикаторами исправности каждой лампы;
- системой механической или химической очистки кварцевых чехлов, позволяющей производить процесс очистки без разборки и демонтажа установки;
- кранами для отбора проб воды на бактериологический анализ.

При выборе схемы обеззараживания необходимо учитывать возможность повторного роста микроорганизмов из-за возникновения условий, способствующих их активному размножению:

- наличие в воде достаточной концентрации органических веществ;
- неудовлетворительное санитарное состояние распределительной сети;
- наличие застойных зон, тупиковых веток.

В качестве консервирующих химических веществ обычно применяется хлор и хлорсодержащие соединения. Для обеспечения эффекта последствием наиболее оптимальным считается применение хлораминов. Вследствие более длительного сохранения в сетях и более активного, чем хлор, действия на биопленку в трубах, хлорамины находят все большее применение в практике водоподготовки.

УФ оборудование НПО «ЛИТ» в январе 2002 года было апробировано в лабораторных условиях на очистных сооружениях ПУВХ «Донец» ТПО "Харьковкомунпромвод".

Было показано, что УФ обработка воды не изменяет ее химический состав (см. табл.2), но обеспечивает нормативные микробиологические показатели качества воды (см. табл.3).

Таблица 2 – Результаты химического анализа исходной и обработанной УФО воды

Параметры качества	Исходная вода из р.С.Донец	Исходная вода из р.С.Донец после обработки УФО
Запах, 20 °С	2,0	2,0
Запах, 60 °С	2,0	2,0
Щелочность	6,0	6,0
Окисляемость	5,7	5,5
Хлориды	44	44
Аммиак	0,16	0,21
Нитриты	0,044	0,047
Нитраты	2,6	2,7
Железо	0,2	0,1
Жесткость общая	7,0	6,9
Сухой остаток	631	608
Кальций	100,2	98,2
Магний	24,3	24,3
Сульфаты	171,6	168,7
Гидрокарбонаты	366	366
Калий + натрий	91,2	91,2

Таблица 3 – Результаты бактериологического анализа питьевой воды 1-го блока

Проба	ОМЧ 22/23.01	Коли-индекс 22/23.01	Коли-фаги 22/23.01
1	75/70	600/500	0/10
2	2/3	<3/<3	0/8
3	9/4	<3/<3	-
4	2/2	<3/<3	0/0
5	2/3	<3/<3	-
6	1/4	<3/<3	0/0
7	1/5	<3/<3	-

*Примечание:* Пробы №1 – исходная вода из р. Донец без обработки УФ. Пробы №2-№7 – исходная вода из р. Донец после обработки УФ.

По итогам проведенных исследований в ТПО "Харьковкомму-промвод" было разработано техническое задание на внедрение на очистных сооружениях водоподготовки комплекса УФ обработки питьевой воды.

1. Терентьев В.И., Гриценко В.К., Лопатин С.А., Кирьянова Л.Ф., Раевский К.К., Фоканов В.П., Шалларь А.В. Перспективы совершенствования технологии обеззараживания воды поверхностных источников // Гигиена и санитария. – 2002. – №3. – С.29-33.

2. ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила отбора».

3. СанПиН 4630-88 «Охрана поверхностных вод от загрязнения».

4. Мильнер О.О. Деякі проблеми централізованого водопостачання та водовідведення населених пунктів України // Зб. доп. Міжн. конгресу «Екологія, технологія, економіка водопостачання і каналізації». – Харків: Проспект, 1999. – С.10-13.

5. Державні санітарні правила і норми «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання» №136/1940 від 15.04.1997 р.

6. Авчинников А.В. Гигиеническая оценка современных способов обеззараживания питьевой воды (обзор) // Гигиена и санитария. – 2001. – №2. – С. 11-20.

7. Методические рекомендации по обеспечению выполнения требований санитарных правил и норм СанПиН 2.1.4.559-96. – М.: НИИКВОВ, 2000.

8. МУ 2.1.4.719-98 «Методические указания по санитарному надзору за применением ультрафиолетового излучения в технологии подготовки питьевой воды».

Получено 29.05.2002

УДК 690.2

В.А.МАЛЯРЕНКО, д-р техн. наук, Ю.И.ЧАЙКА, канд. техн. наук  
Харьковская государственная академия городского хозяйства

### ВЫБОР ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Анализируется методика теплотехнического расчета наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Рассматриваются основные принципы выбора ис-