

В. М. АЛЬШИН, С. М. БЕЗДЕЛИН, С. В. ВОЛКОВ, А. Я. ГИЛЬБУХ, В. В. ДРОЖЖИН, В. И. ЖУКОВ,
А. В. КАЛИНСКИЙ, С. В. КОСТЮЧЕНКО, Н. Н. КУДРЯВЦЕВ, Г. А. КУРКИН, А. Д. СМЕРНОВ, А. В. ЯКИМЕНКО

Применение технологии УФ-облучения воды взамен первичного хлорирования

С конца 70-х гг. в практике подготовки питьевой воды наметилась тенденция к широкому применению метода УФ-обеззараживания воды вместо традиционного хлорирования. Это обусловлено как введением ужесточающих требований к качеству воды и выявлением негативного влияния побочных продуктов, образующихся при хлорировании, так и достижениями в области светотехники, сделавшими метод УФ-обработки конкурентоспособным [1].

Для подземных водоисточников, где схема водоснабжения наиболее проста и роль хлорирования сводится, в основном, к достижению эффекта обеззараживания, применение УФ-облучения практически не имеет противопоказаний.

Для поверхностных водоисточников ситуация немного иная. Это

связано с более сложной общей схемой очистки воды и, в частности, с применением хлорирования в два этапа, а также с той ролью, которую выполняет хлор при обработке поверхностной воды.

Традиционная схема подготовки питьевой воды из поверхностных источников включает в себя водозаборный узел с насосной станцией первого подъема, очистные сооружения, где вода последовательно проходит следующие этапы: первичное хлорирование, реагентную обработку коагулянтами и флокулянтами, отстаивание, фильтрацию и вторичное хлорирование перед подачей в резервуар чистой воды, откуда вода подается потребителям. В такой схеме, помимо основного эффекта обеззараживания, первичное хлорирование способствует улучшению процесса коагуля-

ции и осветлению поверхностной воды.

При отсутствии в исходной воде специфических органических загрязнений, требующих применения окислительных технологий, представляется перспективным заменить частично или полностью первичное хлорирование на УФ-обработку. Тем самым достигается значительное снижение потребления хлора, так как основная его масса вводится на первом этапе, а главное, исключается возможность массового образования хлорорганических соединений, основным источником которого является первичное хлорирование [2].

В мировой практике существуют примеры станций обработки поверхностной воды, использующих только УФ-облучение [3]. В России законодательные нормы на обра-

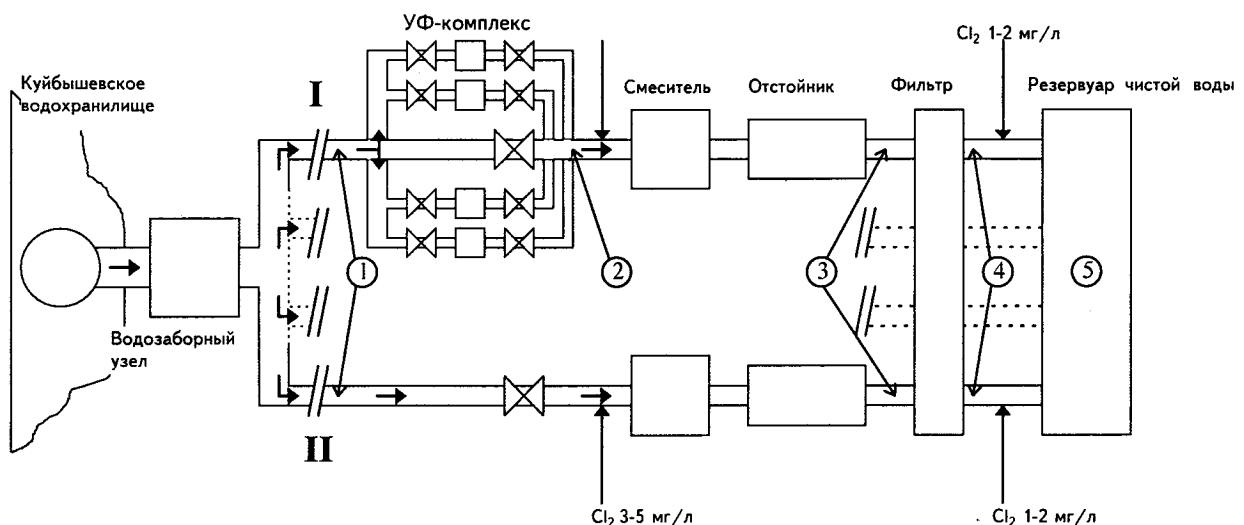


Рис 1. Технологическая схема цеха ОСВ АО "АвтоВАЗ"

1 — цепочка с УФ-обеззараживанием взамен первичного хлорирования; // — цепочка с первичным хлорированием; точки отбора проб воды: 1 — исходной с водозабора; 2 — после обработки УФ-облучением; 3 — после отстойников; 4 — после фильтров; 5 — в резервуаре чистой воды

Таблица 1

Показатель	Качество исходной воды	
	среднее значение	максимальное значение
Колиндекс, 1/л	230	22 000
ОМЧ, 1/мл	100	5000
Цветность, град	23	34
Мутность, мг/л	2,5	27
Окисляемость, мг/л	7,6	10
Азот аммиака, мг/л	0,25	0,5
Нефтепродукты, мг/л	0,37	2
Хлориды, мг/л	27	45
Сульфаты, мг/л	58	82
Железо, мг/л	0,3	0,6
Свинец, мг/л	0,002	0,009

ботку воды из поверхностных источников (ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая", СНиП 2.04.02-84 "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения") также не запрещают применение других, отличных от хлорирования, методов дезинфекции. Однако в настоящее время широкого опыта применения УФ-обработки взамен вторичного хлорирования в России нет, хотя опыт отечественной гигиенической науки подтверждает такую возможность [4].

В настоящей статье описываются результаты практического внедрения метода УФ-облучения воды с целью частичной или полной замены первичного хлорирования на очистных сооружениях водопровода (ОСВ) АО "АвтоВАЗ" Автозаводского района г. Тольятти.

Ряд проблем, связанных с применением хлорирования: эксплуатационные (сложность в обслуживании, необходимость специальных мер по технике безопасности), экономические (содержание хлорного хозяйства и специального штата обслуживающего персонала), а также экологические (токсичность хлора и создание условий образования опасных для здоровья человека хлорорганических соединений) — стимулировали руководство завода начать поиск новых, более эффективных технологических решений.

В 1993 г. силами АО "АвтоВАЗ" (г. Тольятти), НПО "ЛИТ" (Москва), ГПИ "Ростовский Водоканал-проект", Московского физико-технического института, НИИ гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана (Москва) началась реализация данного проекта. Работа выполнялась в четыре эта-

Этап 1. Анализ качества исходной воды и схемы очистных сооружений. Оптимизация процесса обеззараживания.

Очистные сооружения воды АО "АвтоВАЗ" рассчитаны на максимальную производительность до 405 тыс. м³/сут и включают в себя четыре параллельных независимо работающих технологических цепочки с расходом воды по ~4000 м³/ч каждая (рисунок). Подача воды на каждую из цепочек осуществляется по отдельному водоводу диаметром 1200 мм с водозаборного узла, расположенного на берегу Куйбышевского водохранилища в 19 км от цеха ОСВ. Вода с водозабора подвергается первичному хлорированию (3–5 мг/л), затем реагентной обработке коагулянт (сульфат алюминия) и известью, которые вводятся перед вихревым смесителем. После смесителя вода поступает в отстойник горизонтального типа и далее на фильтр с керамзитовой загрузкой. Вторичное хлорирование (1–2 мг/л) осуществляется после фильтрации перед резервуаром чистой воды. Особенностью ОСВ АО "АвтоВАЗ" можно считать осуществление в периоды ухудшения качества волжской воды предварительного хлорирования (2–3 мг/л) непосредственно на водозаборе.

Для оптимизации схемы очистки воды был проведен детальный анализ многолетних данных (1990–1995 гг.) о физико-химических и бактериологических показателях качества исходной воды Куйбышевского водохранилища (табл. 1). На основании этого анализа сделан вывод, что основные показатели органического и неорганического загрязне-

ний исходной воды невысоки и стабильны по времени, и согласно рекомендациям ГОСТ 2761-84 "Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения" в условиях очистных сооружений не требуется применения специальных методов обработки, в том числе окислительных. Необходимая степень очистки воды может быть достигнута оптимизацией процесса коагуляции.

В то же время одним из основных критериев при выборе технологической цепи подготовки хозяйственно-питьевой воды является достаточная надежность обеззараживания воды с учетом возможности резкого микробиологического загрязнения и появления в водотоках опасных болезнетворных бактерий и вирусов. Для обеспечения сохранения этой надежности в качестве первичного дезинфектанта выбрано УФ-облучение. Предварительные технико-экономические расчеты показали эффективность выбранного метода обеззараживания.

Решение о проработке применения УФ-технологии было принято и реализуется заводом в рамках комплексной программы повышения барьерной роли очистных сооружений и улучшения качества питьевой воды (запроектирована и начато строительство системы микрофильтрации, отрабатывается технология применения сорбентов и т. д.).

Важно отметить, что ранее при выборе возможных технологических схем отработывался, в том числе экспериментально, вариант использования технологии озонирования. Результаты испытаний, комплексный анализ и технико-экономические расчеты по внедрению озонирования в данную систему показали экономическую нецелесообразность прежде всего из-за колоссальных капитальных и последующих эксплуатационных затрат.

Этап 2. Проведение предварительных экспериментов.

В 1993–1994 гг. на очистных сооружениях АО "АвтоВАЗ" была проведена серия натурных испытаний на УФ-установке с расчетной производительностью до 80 м³/ч. Необходимость этих экспериментов была обусловлена: отсутствием в нашей стране опыта применения УФ-обеззараживания поверхностной воды в условиях больших расходов; определением требуемой дозы УФ-облучения для надежного эффекта обеззараживания, поскольку при применении УФ-излучения

для дезинфекции воды требуемые дозы облучения варьируются для различного типа воды и могут значительно отличаться от результатов лабораторных экспериментов [5]; проверкой влияния снижения дозы предварительного и первичного хлорирования на основные показатели качества воды: мутность, цветность, окисляемость, БПК и др.

Результаты модельных испытаний на очистных сооружениях показали, что УФ-технология может успешно использоваться для обеззараживания исходной неочищенной воды (снижение колииндекса с 2600 на входе до < 3 после облучения) с полной энергетической эффективностью не более 25 Вт/м³. Снижение доз хлора на водозаборе с 3 мг/л до 0 и при первичном хлорировании на очистных сооружениях с 5 мг/л до 0 не является принципиальным для последующего процесса очистки и не оказывает заметного влияния на процесс коагуляции.

По итогам проведенных исследований была определена необходимая доза облучения и разработана базовая модель УФ-установки обеззараживания воды производительностью 24 тыс. м³/сут. Специалистами ГПИ "Ростовский Водоканалпроект" подготовлено технико-экономическое обоснование внедрения технологии УФ-обеззараживания взамен первичного хлорирования [6] и проведены необходимые проектно-конструкторские работы по включению модуля из четырех УФ-систем в одну из цепочек цеха ОСВ.

Этап 3. Промышленные испытания.

В июле 1995 г. перед одним из смесителей в цехе ОСВ произведен монтаж и пуск комплекса ультрафиолетовой дезинфекции воды (рисунок) в составе четырех установок УДВ-1000/288 производства НПО "ЛИТ", обеспечивающих обработку потока воды с водозаборного узла с фактическим расходом до 100 тыс. м³/сут. Основные технические параметры установленного УФ-комплекса приведены ниже:

Количество УФ-установок	4
Производительность в стандартных условиях, м ³ /ч	4000
Максимальная производительность, м ³ /ч	4400
Эффективность обеззараживания на выходе из комплекса:	
колииндекс	< 9
общее микробное число	< 100

Рабочее давление, атм, не более	2
Потери напора в установке за счет гидродинамического сопротивления, м, не более	0,5
Средний срок службы лампы при непрерывном режиме эксплуатации, ч, не менее	8000
Количество ламп в камере дезинфекции, шт.	288
Напряжение питания, В	380/220
Мощность комплекса, кВт	<100

НИИ гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана совместно с НПО "ЛИТ" была разработана программа годовых испытаний УФ-установок в цехе ОСВ. Программа предусматривала сравнительное исследование процесса очистки воды по двум независимым цепочкам: с УФ-облучением и без него с проведением комплексных анализов бактериологических и физико-химических показателей качества воды (рисунок) при отключенном хлорировании на водозаборе и постепенном снижении дозы первичного хлора на ветке с ультрафиолетом со 100 % до полного его удаления.

Отбор проб воды и лабораторный контроль выполнялись центром Госсанэпиднадзора (ЦГСЭН) Автозаводского района г. Тольятти, бактериологической и химической лабораториями цеха ОСВ и научно-исследовательским отделом НПО "ЛИТ".

Целью проведения испытаний являлось: определение эффективности и стабильности УФ-обеззараживания в условиях годовых колебаний показателей воды; изучение возможного влияния применения УФ-облучения взамен первичного хлорирования на санитарное состояние отстойников и фильтров по цепочке за УФ-установками; отработ-

ка технологического регламента по обслуживанию УФ-комплекса и обучение персонала цеха ОСВ.

Основные результаты исследований, проведенных за период с 1 августа 1995 г. по 1 августа 1996 г., приведены в табл. 2, 3.

Всего за этот период испытаний было проведено 372 бактериологических и более ста комплексных физико-химических анализов проб воды по цепочке с УФ-обработкой и без нее. После УФ-облучения в 100 % проб лаборатории ЦГСЭН и 95 % проб лаборатории ОСВ отмечено снижение колииндекса до минимально регистрируемого уровня < 9 при годовом варьировании значения колииндекса в исходной воде от < 9 до 2380 (табл. 2). По общему микробному числу практически во всех пробах после УФ-облучения значение было < 100. Таким образом, применение ультрафиолета обеспечивает необходимое улучшение качества воды по бактериологическим показателям уже на входе в очистные сооружения.

В технологической схеме цеха первичное хлорирование осуществлялось сразу после УФ-облучения. В течение испытаний доза первичного хлорирования была постепенно снижена до нуля, при этом по цепочке рост микроорганизмов не отмечался (табл. 3). В период интенсивного цветения воды в водохранилище в августе 1996 г. для поддержания нормального санитарного состояния емкостных сооружений проводилось первичное хлорирование малыми дозами хлора 0,5 мг/л на ветке с ультрафиолетом. Доза хлора на остальных трех технологических цепочках без УФ-обработки составляла 3–5 мг/л.

С целью выявления возможных изменений химических характерис-

Таблица 2

УФ-облучение	Статистические данные по эффективности обеззараживания воды		
	колииндекс	количество отобранных проб	процент от общего количества проб
До (160 проб)	< 9	22	13,5
	9–23	30	19
	24–229	80	50
	230–2380	28	17,5
После (212 проб)	< 9	202	95
	9–23	9	4,5
	23–229	1	0,5

Таблица 3

Ветка с УФ-облучением	Статистические данные по санитарному состоянию очистных сооружений		
	коэффициент	количество отобранных проб	процент от общего количества проб
После отстойника	< 9	300	> 99
	Рост	2	< 1
После фильтров	< 9	195	100

тик воды при замене первичного хлорирования на УФ-облучение ЦГСЭН и лабораторией ОСВ производился отбор проб на химические показатели по двум параллельным потокам с УФ-облучением без хлора и с первичным хлорированием в полном объеме. Пробы отбирались на цветность, мутность, окисляемость, БПК₅, аммонийный азот и некоторые металлы. На основе полученных результатов, а также данных специальных исследований НПО "ЛИТ" и лаборатории ОСВ по влиянию снижения дозы хлора на эффект коагуляции в 1994 г. можно утверждать, что замена первичного хлорирования на УФ-облучение не приводит к заметному изменению показателей качества воды по технологической цепочке ни по одному из определяемых параметров.

В 1996 г. специалистами ГНЦ НИИ ВОДГЕО (Москва) было проведено комплексное технологическое обследование системы хозяйственно-питьевого водоснабжения Автозаводского района г. Тольятти по выявлению барьерной роли существующей схемы подготовки воды в отношении загрязнений антропогенного характера, в том числе хлорорганических соединений. Выявлено, что в исходной воде Куйбышевского водохранилища содержание хлорорганических соединений не превышает нормативных требований по отношению к питьевой воде. Однако после ввода первичного хлора наблюдается резкое увеличение их концентрации. Так, общее количество летучих галогенорганических соединений возрастает в 60–70 раз. В технологической цепочке, оснащенной комплексом УФ-обработки, не наблюдалось значительного роста концентрации хлорорганических соединений даже при вводе небольших (до 1 мг/л) доз хлора [7].

Опыт годовой непрерывной эксплуатации показал надежность ра-

боты комплекса УФ-дезинфекции воды при минимальных затратах на обслуживание. Работы по обслуживанию включают в себя регламентную промывку (период между промывками 1–2 мес) и замену ламп 1 раз в год.

Таким образом, результаты промышленных испытаний показали, что технология обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением может успешно использоваться на первичном этапе обработки поверхностной воды взамен первичного хлорирования.

Этап 4. Полномасштабная станция УФ-обеззараживания воды.

В настоящее время в цехе ОСВ АО "АвтоВАЗ" завершено строительство полномасштабной УФ-станции по остальным трем технологическим веткам суммарной производительностью до 400 тыс. м³/сут. Предусматривается установка автоматизированной системы контроля работы всего УФ-комплекса в общей схеме АСУ ТП, внедряемой в настоящее время в цехе ОСВ на базе микропроцессорных контроллеров фирмы "Siemens" (Германия).

Выводы

Метод УФ-обеззараживания воды может успешно применяться в условиях эксплуатации средних и крупных очистных сооружений хозяйственно-питьевой воды с поверхностным источником водоснабжения взамен первичного хлорирования.

Метод УФ-обеззараживания воды надежен по всем нормируемым бактериологическим показателям. Подтверждено отсутствие влияния УФ-излучения воды на другие нормируемые физико-химические показатели.

Действующие станции очистки воды могут быть оснащены современным УФ-оборудованием без изменения технологических процессов подготовки питьевой воды, без

длительных перерывов в работе станции и снижения расхода обрабатываемой воды. Для достижения эффективной работы станции необходим индивидуальный подход с анализом технологической схемы объекта, характеристик обрабатываемой воды.

При удовлетворительном качестве поверхностной воды по специфическим органическим показателям образование хлорорганических соединений в процессе водоочистки может быть исключено при полной либо частичной замене первичного хлорирования на УФ-обработку, что принципиально дешевле и проще технологии озонирования.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ЦГСЭН Автозаводского р-на г. Тольятти Л. В. Сироткиной, А. К. Соколовой, С. В. Русанову и цеха ОСВ АО "АвтоВАЗ" О. Н. Васюткину, Р. А. Дягилевой, Н. Р. Минаевой, Г. Е. Иватиной за большую помощь в организации и проведении исследований при испытаниях УФ-комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mechsner K.I. Theory and Practice of the Testing and Operation of Ultraviolet Systems for Water Treatment // Aqua. 1987. № 2.
2. Новые решения в подготовке питьевой воды / М. Г. Журба, Т. Н. Любина, Е. А. Мезенева и др. // Водоснабжение и сан. техника. 1994. № 1.
3. Ohren J. A., Wiik J. Use of ultraviolet irradiation for disinfection of water – status report from Norway // Water supply. 1986. № 4.
4. Соколов В. Ф. Обеззараживание воды бактерицидными лучами. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1964.
5. Bernhardt H., Hoyer O., Schoenen D. UV-disinfection of treated surface water // Proc. of Regional Conf. on Ozone, Ultraviolet light, Advanced Oxidation Processes in Water Treatment. – Amsterdam (Netherlands), 1996.
6. Обоснование применения ультрафиолетовой технологии дезинфекции воды на очистных сооружениях водопровода и канализации ВАЗа: ТЭО 407.Р7/2-НВК.ПЗ / АО "Ростовский Водоканал-проект". – Ростов-на-Дону, 1994.
7. Разработка технических решений для повышения барьерной роли сооружений ВАЗ по подготовке хозяйственно-питьевой воды: Отчет / ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО. – М., 1996.