



Москва

Тел./Факс: **8 (800) 100-123-7** (Звонки по России бесплатно);

**+7 (495) 617-19 -45, -46, -47, -48; +7(499) 795-77-86**

E-mail: [svarog@svarog-uv.ru](mailto:svarog@svarog-uv.ru)

## **Ультрафиолетовая дезинфекция воды. Реализация первичной ультрафиолетовой дезинфекции воды на установке обработки воды в Мангейме: задачи приобретения, установки и проверки.**

### **Введение и общие положения.**

Установка обработки воды (WTP) в Мангейме это совершенно обычная установка обработки поверхностной воды, принадлежащая и эксплуатируемая окружной администрацией Ватерлоо. Установка находится в г. Китченер и берет воду из важной для городских служб и сельского хозяйства реки Гранд-Ривер. Она подает воду в объединенную систему водоснабжения, обслуживающую гг. Китченер, Ватерлоо, Кембридж, Сан-Якобе и Эльмиру. Установка была сдана в эксплуатацию в 1992 году и вначале работала в режиме предварительного осаждения с озонированием для контроля вкуса, запаха и цвета и при последующем осаждении с хлорированием для первичной дезинфекции воды. Со времени сдачи в эксплуатацию были приложены значительные усилия для улучшения общей стратегии дезинфекции воды и реализации подхода по созданию всеобъемлющего множественного барьера для обеспечения максимально возможной безопасности обработанной воды. Эти усилия привели к созданию модернизированной системы озонирования, служащей для первичной дезинфекции воды, а не просто в качестве средства контроля вкуса, запаха и цвета. Такие дополнительные требования, выдвинутые к системе озонирования и выходящие за рамки первоначального проекта, привели к тому, что приблизительно через десять лет работы оборудование было практически полностью изношено.

Учитывая возможность замены и/или модернизации системы озонирования, окружная администрация инициировала всеобъемлющие многолетние работы по оценке альтернативных стратегий дезинфекции воды для обеспечения уровня защиты, далеко превосходящего текущие предписания 459/00 округа Онтарио по защите питьевой воды. Эти исследования включали в себя предварительную экспериментальную проверку ультрафиолетового излучения в качестве средства инактивации микроорганизмов *Giardia* и *Cryptosporidium*. В 1998 году окружная администрация разработала демонстрационную ультрафиолетовую систему и провела ее испытания на WTP в Мангейме для определения возможности использования ультрафиолетового излучения в качестве средства первичной дезинфекции воды. Эта экспериментальная проверка была чрезвычайно успешной и быстро привела к пониманию того, что использование ультрафиолетового излучения может лежать в основе наиболее эффективной методологии инактивации *Giardia* и *Cryptosporidium* при сравнительно низких дозах облучения. Переворот в представлениях об этой технологии в основном был обусловлен изменениями методологии проверки степени инактивации, убедительно подтвержденными работами многих других исследователей.

На основании многообещающих результатов демонстрационных испытаний окружная администрация решила применить ультрафиолетовое излучение для первичной дезинфекции воды в качестве наиболее вероятной технологии для WTP Мангейма, и начала широкомасштабные исследования для обоснования разработки должной базы для реализации этой новой технологии. Эти исследования проводились большой группой опытных специалистов в области водообработки, включавшей как собственно исследователей, так и представителей регулирующих органов. О результатах этих исследований в 2001 году был подготовлен отчет, ставший основой проекта конструирования ультрафиолетовой системы.

Реализация проекта дезинфекции воды с помощью ультрафиолетового излучения началась в 2002 году с предварительного выбора оборудования, за которым последовало конструирование установки.

Ее постройка началась в декабре 2002 года. В настоящее время проходит этап ввода ее в эксплуатацию, завершение которого намечено на июнь 2003 года. Несмотря на тщательную проработку на предварительной стадии конструирования, во время реализации этого проекта, в частности, при проектировании, приобретении оборудования, установке, проверке и вводе в эксплуатацию, разработчики столкнулись с множеством дополнительных проблем.

Эти проблемы являются следствием новизны технологии ультрафиолетовой дезинфекции воды для установок обработки поверхностных вод такого масштаба. В этой статье рассматриваются эти проблемы, а также возможные пути их решения, что может оказаться полезным для других разработчиков, планирующих подобные модернизации систем водообработки при помощи ультрафиолетового оборудования первичной дезинфекции воды.

### **Основа проекта.**

Во время фазы предварительного проектирования был проведен масштабный анализ различных методов ультрафиолетовой дезинфекции воды. Их можно разбить на три основные категории:

- подразумевающие применение оборудования дезинфекции воды низкого давления (LP);
- оборудования низкого давления с высоким выходом (LPНО);
- оборудования среднего давления (MP).

Оценка расположения ультрафиолетовой установки в технологической линии проводилась на основании множества факторов, в том числе пространственных ограничений, качества воды и параметров гидравлического оборудования установки. Вначале производилась оценка четырех возможных вариантов расположения в технологической линии:

- после озонирования и перед фильтрацией;
- после фильтрации на выходных каналах всех четырех фильтров;
- после фильтрации и перед хлорированием;
- после фильтрации и после хлорирования.

Из-за пространственных ограничений было определено, что в установке такого масштаба применение ламп низкого давления невозможно, поэтому предварительно были выбраны ультрафиолетовые системы типа LPНО или MP.

В ходе оценки было выяснено, что наиболее предпочтительным вариантом расположения ультрафиолетовой установки является позиция за фильтрами и перед резервуарами для контакта воды с хлором. Ультрафиолетовые системы установлены таким образом, чтобы засасывать воду из общей магистрали отфильтрованной воды, вместо того, чтобы иметь отдельные модули дезинфекции на выходном трубопроводе каждого фильтра. Имеются два ультрафиолетовых реактора, каждый из которых рассчитан на 100% расхода установки водообработки (840 л/с). Один из этих реакторов находится в рабочем режиме, а другой - в резерве. Благодаря компоновке с байпасным трубопроводом обеспечивается максимальная гибкость, поэтому любой из ультрафиолетовых реакторов может быть использован при направлении воды в один из двух резервуаров хлорирования (восточный и западный накопительные резервуары для обработанной воды).

Для системы была выбрана расчетная доза облучения (интегральная плотность потока), равная 40 мДж/см<sup>2</sup> при наихудших условиях, что представляет собой текущий промышленный стандарт для первичной дезинфекции поверхностной воды. Однако было отмечено, что лучшая, чем 3 log, инактивация *Giardia* и *Cryptosporidium* может быть достигнута при гораздо меньших дозах

ультрафиолетового излучения, поэтому была также задана рабочая доза 20 мДж/см<sup>2</sup>. Сводка расчетных параметров ультрафиолетовой системы приведена в **табл. 1**.

Таблица 1

**Расчетные параметры**

Расположение УФ-системы	Далее по потоку воду после фильтров и перед резервуарами для хлорирования
Расчетный расход в технологической линии	840 л/с
Количество линий	2 (одна в работе, другая в резерве), т. е. обеспечивается 100%-е резервирование
Технология УФ-облучения	LPHO или MP
Расчетная доза УФ-излучения	40 мДж/см <sup>2</sup>
Рабочая доза	20 мДж/см <sup>2</sup>
Расчетная степень пропускания УФ-света	88 %
Минимальная температура	0,5 °С
Растворенный органический углерод	< 5 мг/л
Мутность воды	< 1 NTU
Истинный цвет	< 5 TCU
Содержание железа	< 0,05 мг/л
Содержание марганца	< 0,02 мг/л
Общее количество растворенных твердых веществ	< 700 мг/л
Общая жесткость, выражаемая в содержании СаСО <sub>3</sub>	< 400 мг/л
Содержание нитратов	< 10 мг/л
Максимальное давление в системе	500 кПа
Максимально допустимая потеря напора	500 мм
Диапазон мощности реактора	4:1

Двумя наиболее важными расчетными параметрами ультрафиолетовых реакторов являются расход и качество воды, выражающиеся, в частности, в коэффициенте пропускания ультрафиолетового света (UVT). Важность UVT невозможно переоценить, т. к. снижение значения UVT на несколько процентов приводит к увеличению мощности рассчитываемого реактора. На WTP в Мангейме значения UVT еженедельно замерялись в течение двенадцати месяцев в разных местах линии обработки. Полученные результаты приведены на **рис. 1**. Они демонстрируют сезонные изменения в течение года, а также увеличение коэффициента пропускания в результате обработки воды. В конструкцию ультрафиолетовой установки было заложено значение UVT 88%. Такое значение наблюдалось приблизительно в 10% случаев при наблюдении в течение двенадцатимесячного периода в соответствующем месте на магистрали отфильтрованной воды.

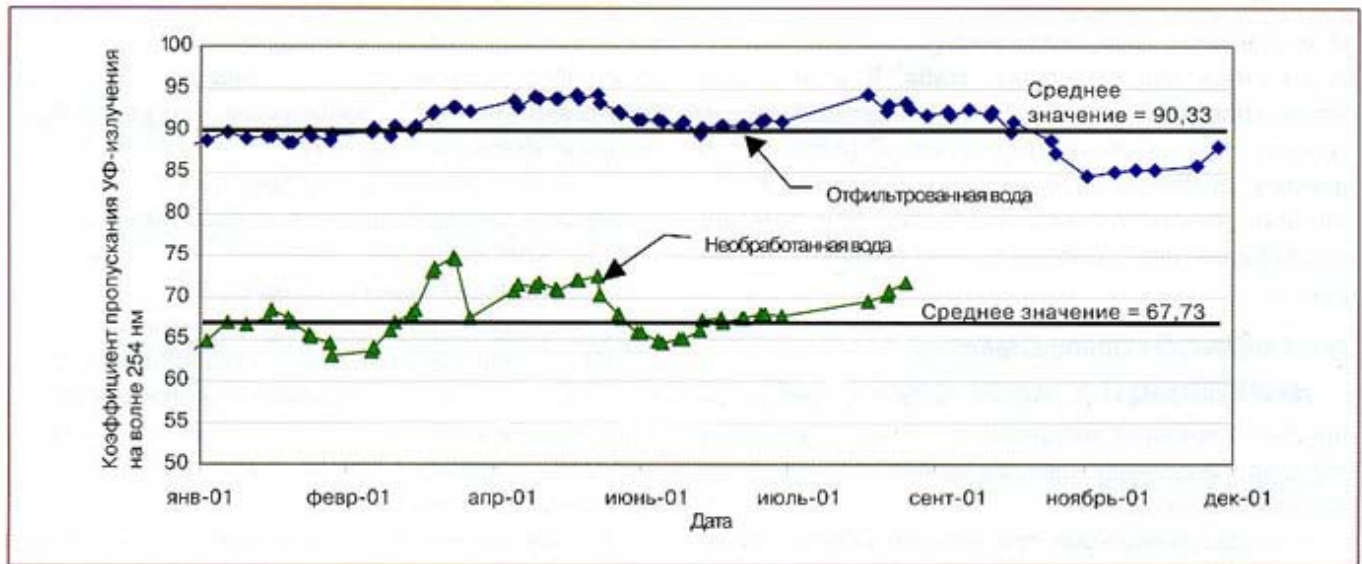


Рис. 1. Изменения UVT в зависимости от места измерения и от сезона

### Предварительный выбор оборудования.

Предварительный выбор ультрафиолетового оборудования необходим из-за большого разброса конфигурации систем, предлагаемых различными производителями. Для тендеров по предварительному выбору оборудования был подготовлен подробный список необходимых технических параметров. Это позволило окружной администрации точно определить уровень необходимой производительности, а также подтвердить основные дополнительные элементы, например, измерительные приборы устройства управления.

Были получены три ответа: два от поставщиков ламп среднего давления (Calgon и Trojan) и один от поставщика оборудования, основанного на технологии LPHO (WEDECO). Из-за операционных различий технологий двух типов для выбора определенного поставщика был предпринят анализ срока службы предлагаемого оборудования. При выполнении этого анализа принимались во внимание начальные капитальные затраты, текущие эксплуатационные расходы, например, потребление электроэнергии, а также расходы на проведение время от времени технического обслуживания, например, замену ламп или датчиков.

На основании анализа срока службы были выбраны ультрафиолетовые реакторы Sentinel, поставляемые корпорацией Calgon Carbon Corporation (Calgon). Это реакторы диаметром 1200 мм, каждый из которых содержит шесть ультрафиолетовых ламп среднего давления и мощностью 20 кВт (рис. 2). Лампы расположены горизонтально, перпендикулярно направлению воды, в двух блоках по три лампы, установленных в шахматном порядке. Место установки ламп и внутренних перегородок обеспечивает кратчайший путь света, так, чтобы этот свет падал на поток воды без короткого замыкания излучения. Для поддержания чистоты кварцевых стаканов предусмотрен механизм автоматической очистки ламп. Отдельные детали расположения ламп, кварцевых стаканов, датчиков и механизма очистки можно видеть на рис. 3.



Рис. 2. Общий вид реактора перед установкой

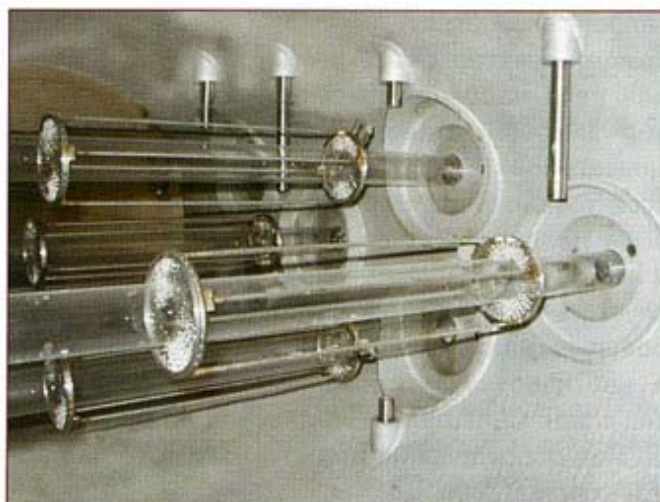


Рис. 3. Расположение стаканов, датчиков и механизма очистки

### **Проблемы прерывания подачи электропитания и резервирования.**

Применение ультрафиолетовой технологии для первичной дезинфекции накладывает определенные ограничения на деятельность разработчиков и операторов для непрерывного обеспечения полной дезинфекции воды. Одна из проблем касается надежности электроснабжения. Даже небольшая нестабильность напряжения в течение доли секунды может вызвать отключение ламп. Следует отметить, что для ультрафиолетовых систем, особенно для систем с лампами среднего давления, необходимо ощутимое время для разогрева и выхода на полный рабочий режим.

Для установок фирмы Calgon время холодного запуска составляет приблизительно 4 мин., в то время как для перезапуска в нагретом состоянии необходимо около 10 мин., т. к. лампам вначале нужно остыть. В то же время имеющимся на WTP в Мангейме резервным дизельным генераторам для выхода на полную мощность, в случае отключения электропитания, требуется приблизительно 1 мин. Следовательно, имеется определенный промежуток времени, в который вода продолжает течь, а ультрафиолетовая система не обеспечивает полной инактивации. Управление по охране окружающей среды США в своем проекте предписаний по использованию ультрафиолетовых систем определяет этот период или как «время простоя», когда лампы отключены, или как «время несоблюдения технических требований», когда лампы работают только частично.

Для решения проблем, связанных с возможным простоем или несоблюдением технических требований была проведена оценка нескольких альтернативных стратегий, таких, например, как:

- установка обводного канала для сброса воды во время разогрева ламп;
- применение устройств бесперебойного питания (UPS) с соответствующей для ультрафиолетового реактора мощностью;
- временное отключение фильтров и системы предварительной обработки;
- обеспечение альтернативного метода дезинфекции воды в качестве средства обеспечения множественного барьера.

Существующие ограничения на прокладку труб и отвода сточных вод не позволяют осуществлять отвод всего потока воды даже на 10 мин., поэтому применение байпаса не представляется возможным. Но он может применяться в качестве средства защиты на новом оборудовании, в котором фильтры в трубопроводах сточной воды могут иметь избыточную производительность, достаточную, чтобы справиться с таким отводным потоком. Большие установки UPS не могут рассматриваться в качестве экономически оправданного или практически осуществимого решения, т.

к. их батареи могут использоваться очень редко, но они требуют регулярной замены и качественного технического обслуживания. Отключение линии фильтрации на короткий промежуток времени нежелательно и связано с дополнительной опасностью для общего качества воды во время перезапуска и процесса предварительной обработки (т. е. существует опасность коагуляции, образования хлопьев и отложения осадка).

Поэтому было принято решение после прохождения водой ультрафиолетовой установки производить ее хлорирование, достаточное для инактивации микроорганизмов *Giardia*, эквивалентной, по крайней мере, показателю 3 log, что является минимальным стандартом, принятым в Онтарио. Это может быть реализовано в уже существующих на WTP резервуарах хлорирования. Такой подход обеспечивает дополнительную инактивацию вирусов сверх той, которая выполняется ультрафиолетовым излучением.

### **Проблемы установки.**

Основной в этом проекте была проблема монтажа оборудования в тесном, расположенном ниже уровня земли, коридоре с трубами при непрерывной работе установки обработки воды. Каждый реактор диаметром 1200 мм весит 2,2 т, для него необходимо смонтировать трубы из нержавеющей стали общей длиной приблизительно 225 м, а также семь клапанов с электрической инициацией. Все это оборудование нужно было перенести в коридор с уже имеющимися в нем трубами через эксплуатационный люк или спустить через лестничный колодец. В результате большая часть труб была доставлена только в частично смонтированном виде, а фирма Wellington Construction установила на месте сварочное оборудование для стыковки труб из нержавеющей стали.

В дополнение к неудобному доступу и тесноте подрядчику пришлось столкнуться с серьезными временными ограничениями. Первым из установленных требований было то, что работа должна быть выполнена в сезон наименьшей потребности в воде, т. е. в период с января по апрель. Максимальный период отключения, разрешенный для врезки в магистраль отфильтрованной воды и для установки новых тройников, был равен только 48 часам. Выполнение всех других работ должно было производиться при работе не менее половины всех фильтров. Эта работа была к тому же осложнена необходимостью перемещения существующего оборудования водоснабжения, например, обратных промывочных трубопроводов, линий воздушной очистки, линий взятия проб и лотков для электрических кабелей. Это было необходимо сделать, чтобы освободить место для новых ультрафиолетовых реакторов и обводных трубопроводов. Большую часть этого оборудования нельзя было отключить более чем на одну восьмичасовую смену. Со всеми этими ограничениями удалось справиться, и в результате тщательного планирования и тесного взаимодействия окружного персонала по эксплуатации и техническому обслуживанию, инженеров и подрядчика система была установлена в конце марта 2003 года.

### **Проверка.**

В отличие от хлора, использование ультрафиолетовой дезинфекции воды не оставляет никаких остаточных продуктов, по которым можно было бы судить о правильной работе оборудования. Можно сказать, что ультрафиолетовая система работает правильно, если ультрафиолетовые датчики регистрируют интенсивность доставляемого ультрафиолетового излучения, превышающую расчетную интенсивность. Для этого процесса необходимо проведение обширных проверочных испытаний, доказывающих, что определенный реактор обеспечивает необходимый уровень инактивации патогенных организмов при расчетной интенсивности. Для проверочных испытаний необходимо использование микроорганизмов, заменяющих патогенные, например, фагов MS2. Эти испытания ультрафиолетового реактора должны проводиться при разных значениях расхода, качества воды и установочных параметров реактора.

Для крупных работающих установок, таких как установка в Мангейме, испытания на месте не только нереализуемы на практике, но и нежелательны. Поэтому от поставщика требовалось проведение таких испытаний не на месте эксплуатации установки. Фирма Calgon, совместно с компанией Carollo

Engineers, разработала для этих целей специальный испытательный стенд в Портланде (штат Орегон). На этом стенде имеется высокопродуктивный источник чистой воды, позволяющий проводить испытания в широком диапазоне качества воды при помощи добавления в чистую воду подходящего агента для снижения UVT. На **рис. 4 и 5** представлены схема и фотография испытательного оборудования.

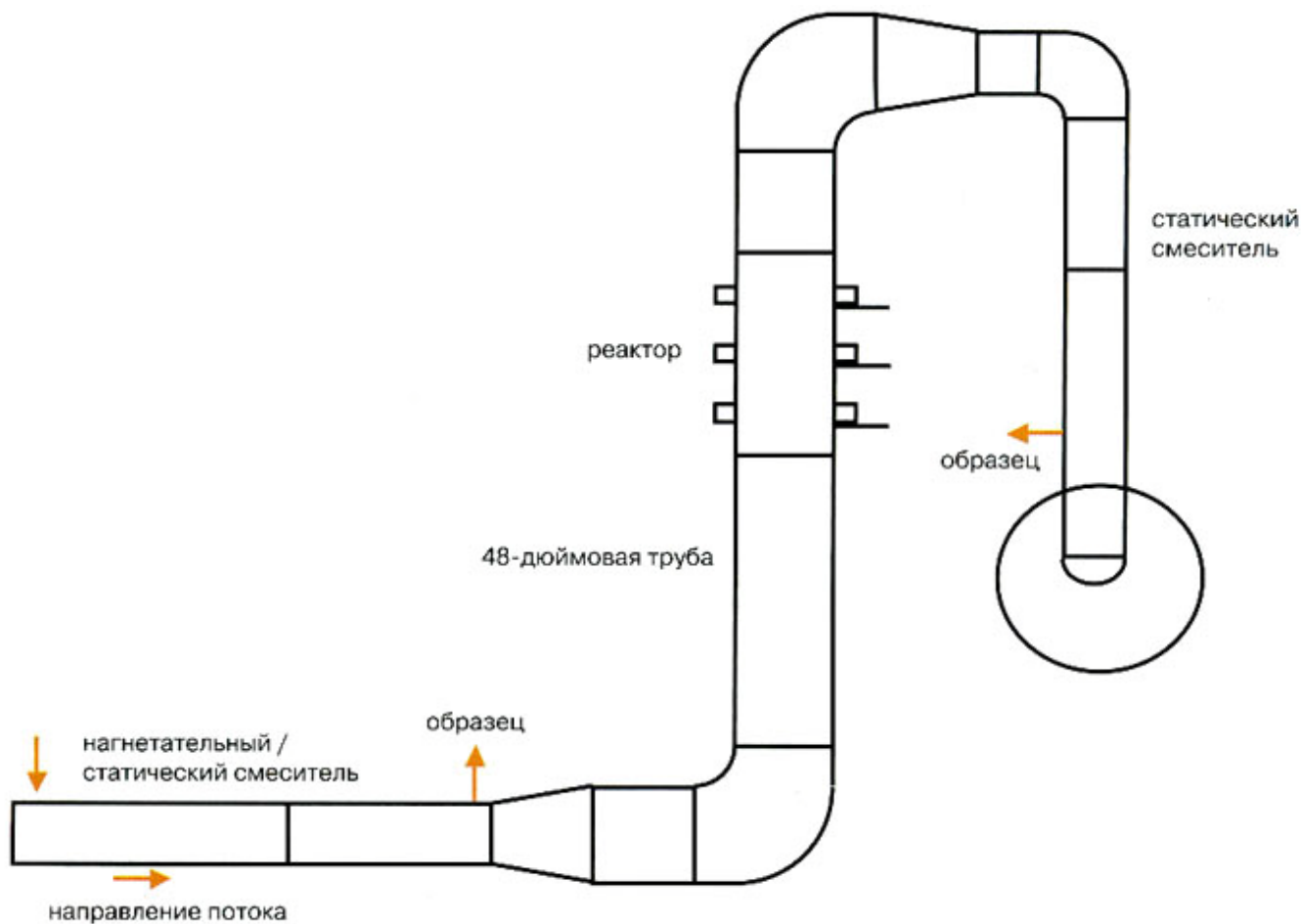


Рисунок 4. Схема проведения проверки

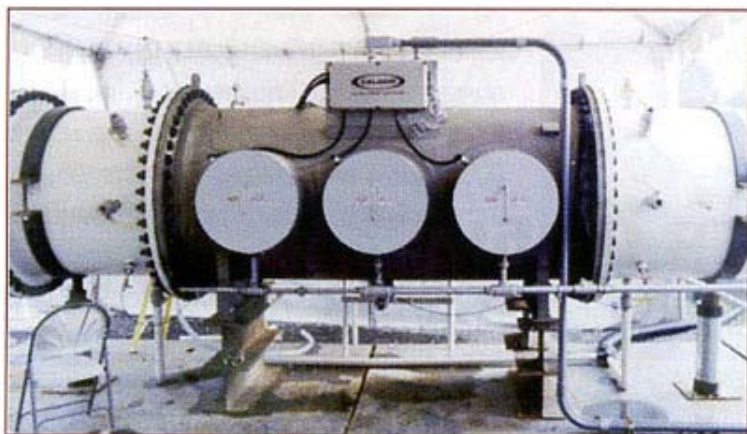


Рис. 5. Испытываемый реактор

Установленное в Портланде испытательное оборудование было введено в строй в марте 2003 года, и реактор в Мангейме стал первой испытываемой там системой. Серия испытаний проводилась при следующих условиях:

- 3 значения расхода: 28,5, 57 и 114 MLD (7, 5, 15 и 30 MGD);
- коэффициенты пропускания ультрафиолетового излучения, соответствующие 80%, 85% и 90%;
- относительная выходная мощность ламп от 30% до 100%.

На **рис. 6** представлен показатель "Эквивалентная доза снижения содержания" (RED), определенный как отчеты датчика при различных значениях расхода, мощности и качества воды.

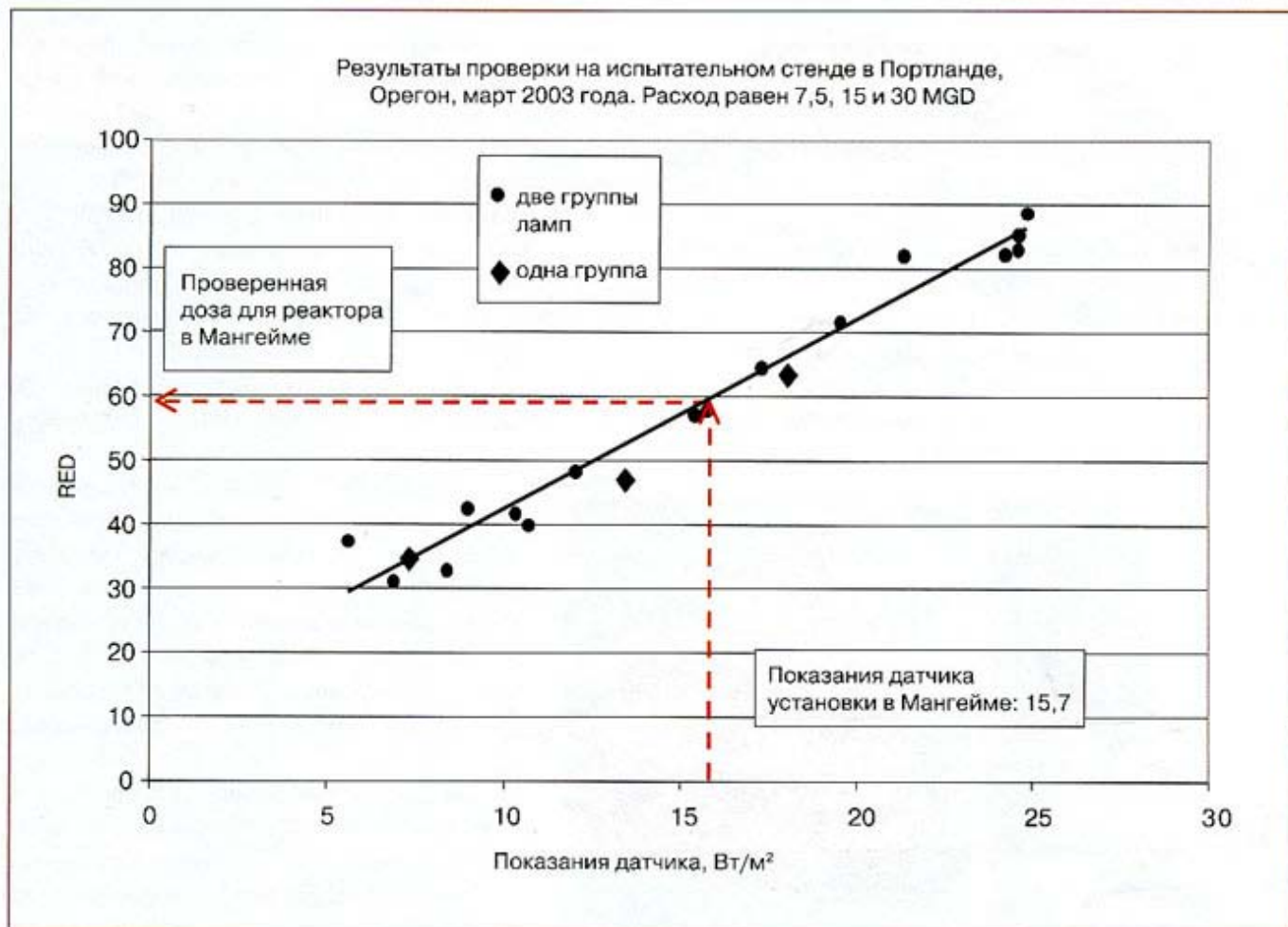


Рис. 6. Эквивалентная доза снижения содержания RED

### Закключение.

Предполагается, что в ходе модернизации установок обработки поверхностных вод для обеспечения требований новых, более строгих, предписаний применение систем ультрафиолетового света будет становиться все более обычной практикой. Опыт модернизации WTP в Мангейме показал, что оснащение существующих крупных систем ультрафиолетовыми установками возможно при тщательном учете множества факторов.

Авторы хотели бы выразить благодарность членов группы разработчиков, в состав которой входили: Hennie Fourie, Nancy Kodousek, Alan Couch, Olga Vrentzos и Lane Stevens. Мы благодарим их за оказанную помощь в подготовке этой статьи. Особо мы хотели бы отметить технический персонал, принимавший участие в эксплуатации, проектировании и обслуживании на месте, и внесшего свой вклад в успех этого проекта.

*А. Н. Ульянов, Ген. директор ЗАО «Сварог», действительный член ВАНКБ (по материалам II международного конгресса по ультрафиолетовым технологиям).*