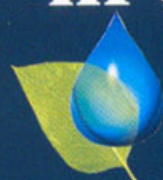


ВОДА и ЭКОЛОГИЯ

ПРОБЛЕМЫ и РЕШЕНИЯ



№ 1/2007

**С.Р. ШТЕРНЕР, С.Л. ЛУЗГИН, Т.С. КИРИЛЛОВА****НОВОЕ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ
ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
ПРОЦЕССОМ РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ.**

Процесс реагентной очистки воды на водопроводных очистных сооружениях заключается в ее последовательной обработке коагулянтom, флокулянтom, хлором и т.д. при прохождении технологических сооружений (смесителей, отстойников, контактных осветлителей, фильтров).

Изменяющиеся условия проведения технологического процесса (ТП), такие как физико-химические и бактериологические показатели исходной воды, типы, марки реагентов, концентрации их рабочих растворов, состояние дозирующего оборудования, производительность и техническое состояние очистных сооружений требуют для получения необходимой глубины очистки воды непрерывного автоматического контроля ряда его параметров, который определяется всеми вышеназванными факторами.

В настоящее время на большинстве водоочистных станций России отсутствует непрерывный автоматический контроль ТП, а его управление основывается на результатах лабораторных химических анализов, периодичность которых зачастую недостаточна для его оптимальной реализации.

Современные средства автоматизации, компьютерные технологии, широкий класс контроллеров и промышленных компьютеров являются надёжной основой для автоматического контроля и оптимального управления технологическими процессами очистки воды.

Для оптимизации действующих на водоочистных станциях технологий очистки воды средствами АСУ ТП нами с 1995 года разрабатываются, модернизируются, изготавливаются и внедряются контрольно-измерительные и управляющие модули «Коагулянт-Осветлитель» для автоматического дозирования коагулянта и флокулянта (КИМ АДКФ), щелочного реагента (КИМ АДЩР) и «Хлор-мониторинг», осуществляющий автоматический контроль концентрации активного хлора в очищаемой воде [1-3]. Они в совокупности образуют контрольно-аналитический комплекс «УНИТОК-1», модули которого успешно применяются для подготовки питьевой воды согласно СанПин 2.1.4.1074 – 01 на двадцати водоочистных станциях России, от Апатитов Мурманской области до Комсомольска-на-Амуре Приморского края, а также на ГОС ГКП «Водоканал» г.Алматы республики Казахстан.

Особенностью каждого из названных выше модулей является то, что они представляют собой самостоятельный измерительно-вычислительный комплекс, который легко интегрируется в любую САУ и легко устанавливается на любой станции очистки воды независимо от её производительности и технического состояния. Кроме этого, наряду с автоматическим измерением физико-химических параметров очищаемой воды и управлением исполнительными механизмами, в них предусмотрены:

- автоматическая очистка датчиков;
- автоматическая самодиагностика исправности основных электрических схем и исполнительных механизмов модулей;
- термостатирование оптических приборов;
- контроль цепей управления и состояния исполнительных механизмов, дозирующих реагенты;
- алгоритм безопасности реализуемого технологического процесса;
- автоматический контроль поступления контролируемых проб воды и эффективности применяемого закона управления.

В данной работе мы остановимся на двух из вышеназванных модулей: контрольно-измерительном модуле «Коагулянт-Осветлитель» и контрольно-измерительном и управляющем модуле автоматического дозирования коагулянта и флокулянта (КИМ АДКФ).

1. Контрольно-измерительный модуль (КИМ) «Коагулянт-Осветлитель»

Разработка этого модуля была предпринята по заказу МУП «Водоканал» г. Архангельска в 1995 году, внедрение выполнено в декабре 1996 года, а результаты использования в период 1996г-1997 г на нескольких водоочистных станциях описаны в работе [4].

КИМ «Коагулянт-Осветлитель» осуществляет контроль 12-ти проб воды, отбираемых с различных участков технологического процесса, измеряя при этом значения их мутности, величины pH, температуры и скорости осветления.

Решаемые модулем задачи:

- контроль проб исходной воды и воды, отобранной после смесителей, отстойников, контактных осветлителей, фильтров, по вышеперечисленным параметрам;
- контроль продолжительности фильтроцикла, перераспределения нагрузок между фильтрами, контактными осветлителями;
- качественный контроль стабильности дозирования коагулянта (по изменению мутности исходной воды после добавления коагулянта);
- контроль и автоматическое моделирование процесса осветления коагулированной воды в отстойниках (режим «Пробная коагуляция»).

Достигаемые результаты:

- оперативный контроль технологической и диспетчерской службами всей технологической цепочки: от исходной неочищенной воды до воды, отправляемой потребителю;
- оперативный подбор оптимальных доз коагулянта и флокулянта при автоматическом моделировании процесса осветления коагулированной воды в рабочей ёмкости модуля;
- экономия коагулянта в среднем на 10%;
- экономия расхода воды на промывку фильтров в среднем на 10%;

- устойчивое снижение содержания остаточного алюминия, железа, хлорорганических и иных примесей в очищенной воде;
- повышение технологической дисциплины и культуры производства вследствие полной подотчётности технологического персонала (результаты работы всех смен хранятся в архиве данных компьютера).

Одна из составных частей КИМ «Коагулянт-Осветлитель» - блок приёма и распределения потоков, приёмная воронка которого устанавливается на определённой позиции для удобства отбора конкретной пробы. Общее количество параллельно отбираемых проб – 12 и в них поочерёдно контролируются мутность, величина pH и температура датчиками, установленными в рабочей ёмкости модуля (рис. 1). Время контроля одной пробы составляет от 4 до 7,5 минут.

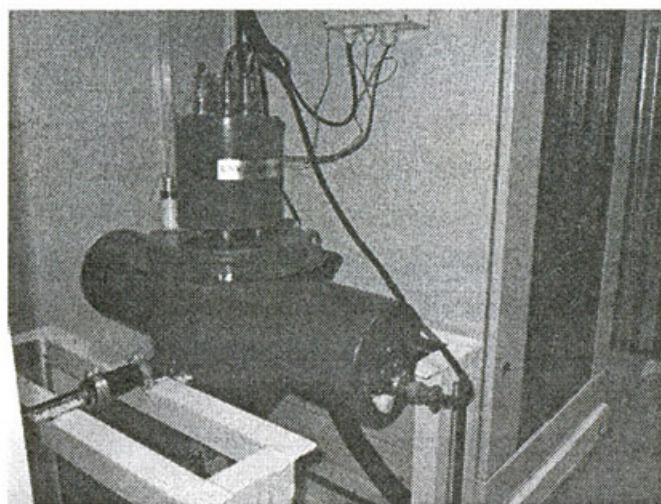


Рис. 1. Рабочая емкость модуля «Коагулянт-Осветлитель»

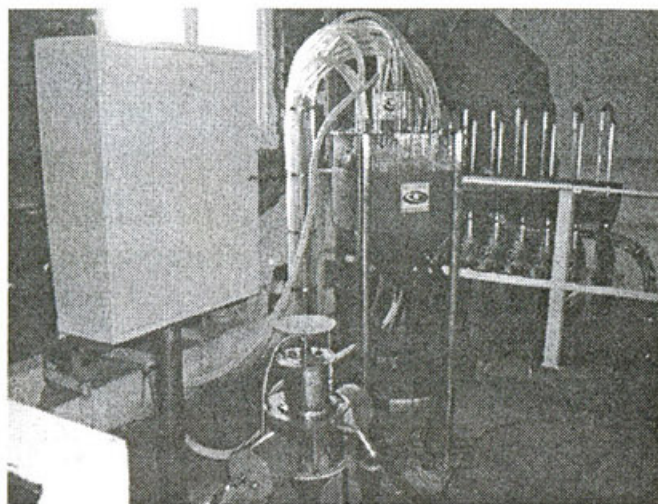


Рис. 2. КИМ «Коагулянт-Осветлитель» на ГОСВ г.Хабаровска

Один модуль «Коагулянт-Осветлитель» можно использовать для контроля всей технологической цепочки или какой-либо отдельной её части. Например, на ГОСВ г.Хабаровска установлены 2 модуля «Коагулянт-Осветлитель», причём КИМ «Коагулянт-Осветлитель» №1 контролирует исходную воду (река Амур), смесители и отстойники, а КИМ «Коагулянт-Осветлитель» №2 - 12 фильтров станции (рис. 2).

Пробы воды поступают к КИМ «Коагулянт-Осветлитель», как правило, в самотечном режиме. Для этого выбирается соответствующее по уровню место его установки. Так, например, природный рельеф площадки головных очистных сооружений ГКП «Водоканал» г.Алматы республики Казахстан предоставил возможность самотечного подведения проб к панели потоков модуля, расположенного в здании «новой» фильтровальной станции (рис. 3). К модулю подводятся пробы речной воды, воды, смешанной с реагентами перед поступлением на горизонтальные и вертикальные отстойники, воды, прошедшей отстойники и поступающей на «старую» и «новую» фильтровальные станции, а также ряд проб фильтрованной воды. Длины полиэтиленовых труб, по которым пробы подаются в модуль, достигают 200 м. Внедрение модуля «Коагулянт-Осветлитель» выполнено в январе 2007 года.

Особый режим работы модуля - режим «пробной коагуляции» - представляет

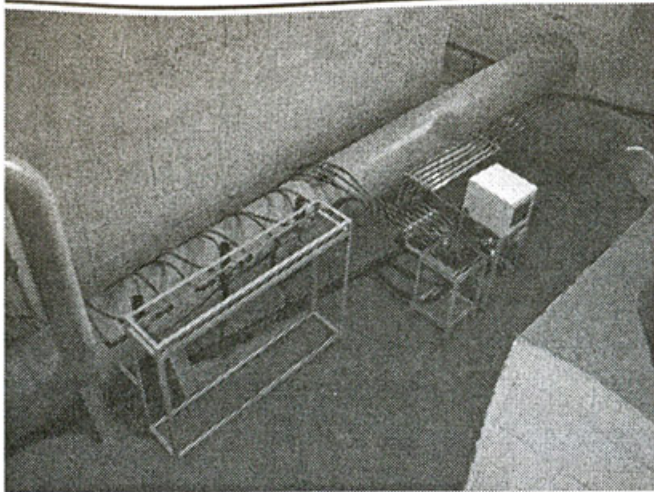


Рис. 3. КИМ «Коагулянт-Осветлитель»
на очистных сооружениях ГКП
«Водоканал» г.Алматы

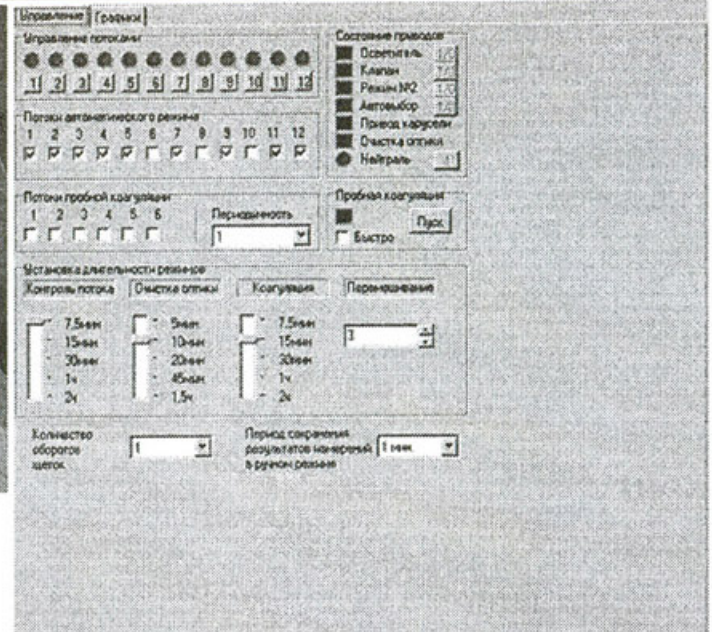


Рис. 4. Окно «Управление» программы
«УНИТОК-ДИСПЕТЧЕР»

собой совокупность операций по оценке коагулирующей способности применяемых реагентов и их количеств (доз), осуществляемых автоматически под управлением программного обеспечения «УНИТОК-ДИСПЕТЧЕР». Суть этого режима состоит в следующем: в определённые моменты времени, заданные Пользователем в окне «Управление» программы «УНИТОК-ДИСПЕТЧЕР» (рис. 4), по команде компьютера модуль осуществляет отбор пробы воды с реагентами (проба отбирается из водовода непосредственно после смесителя) в свою рабочую ёмкость с датчиками (рис. 1). Далее происходит перемешивание этой пробы в течение заданного времени и наблюдение за тем, как быстро происходит осветление отобранной пробы воды. Продолжительность перемешивания может составлять от 1 минуты до 20 минут и также предварительно задаётся Пользователем в окне «Управление» программы «УНИТОК-ДИСПЕТЧЕР» (рис.4) вместе с желаемой продолжительностью наблюдения организуемого процесса. Частота перемешивания - 8,7 об/мин. График изменения мутности пробы воды со временем в режиме «пробная коагуляция» изображается точками с красными кружками. Он являет собой отражение моделирования процесса осветления коагулированной воды в отстойниках и дает наглядное представление о том, насколько эффективно происходит этот процесс. На рис.5 приведены графики осветления коагулированной на ГОСВ г. Хабаровска воды, полученные при одинаковых дозах применяемых реагентов (оксихлорид алюминия и полиакриламид), но с разным временем её перемешивания в рабочей ёмкости модуля при моделировании процесса хлопьеобразования в КХО отстойников [5]. Как видно из сравнения значений скорости осветления $V_{осв}$, предпринимаемое механическое перемешивание заметно способствует ускорению процесса коагуляции очищаемой воды.

Следует отметить, что описанный режим «пробной коагуляции» модуля «Коагулянт-Осветлитель» не заменяет лабораторных исследований пробных коагуляций, однако получаемые с его помощью результаты позволяют

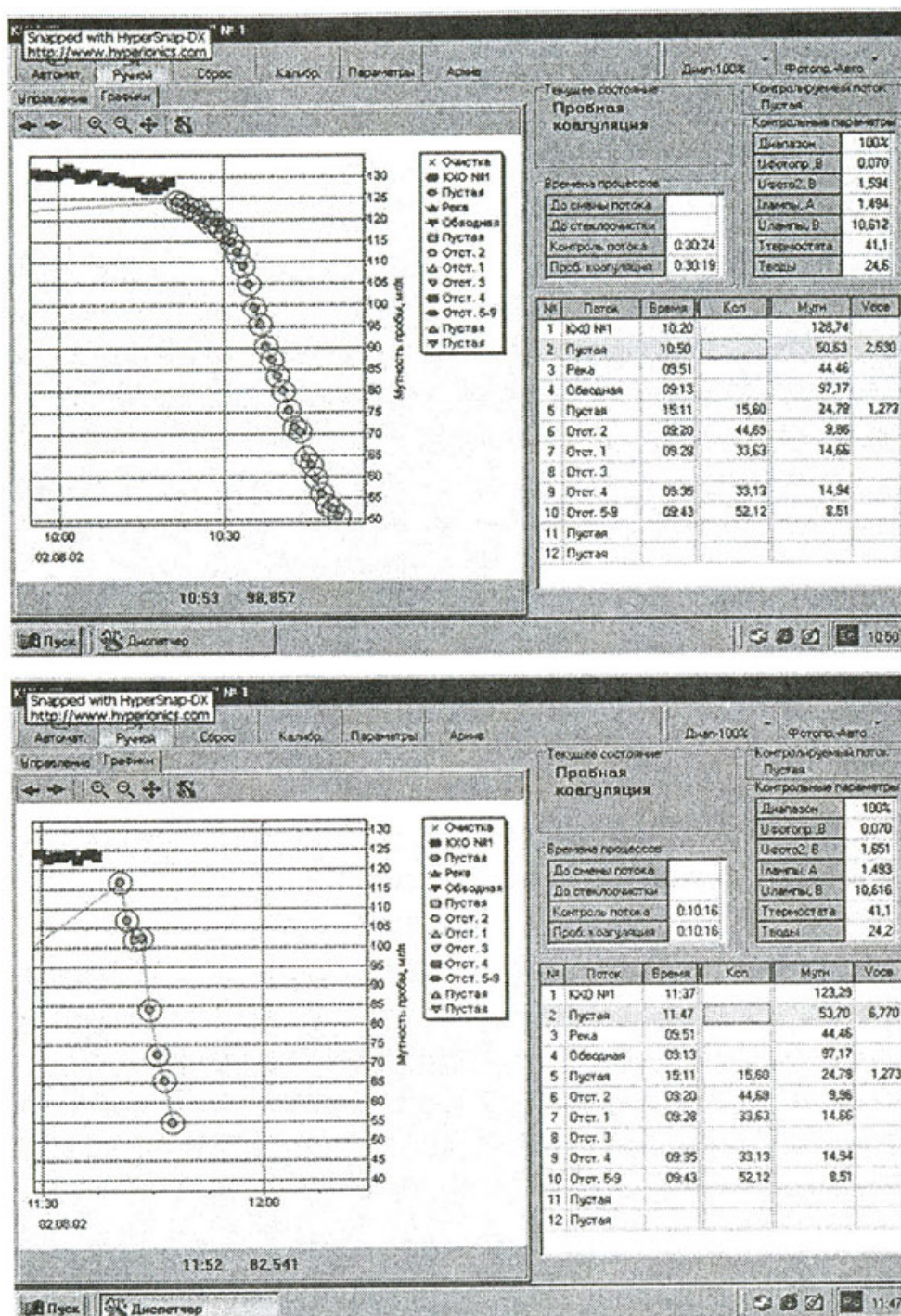
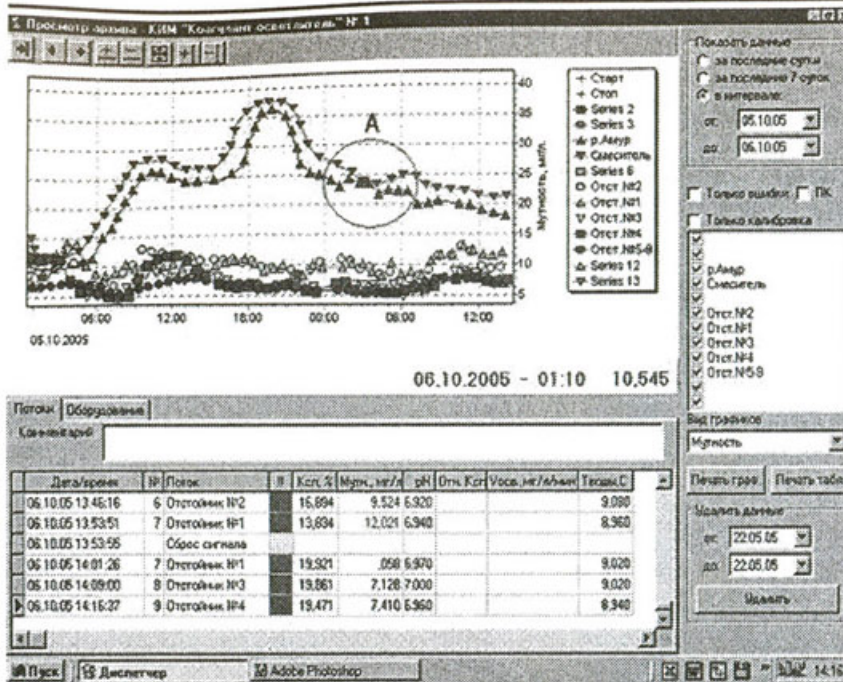


Рис. 5. Графики осветления воды, коагулированной на ГОСВ г. Хабаровска

диспетчерской службе в любое время, независимо от химической лаборатории, оперативно получить модельную информацию о скорости осветления $V_{осв}$ коагулированной воды. Эта информация оказывает помощь технологу и диспетчеру при подборе доз реагентов, оптимальных для очищаемой в настоящее время воды.

КИМ «Коагулянт-Осветлитель» предоставляет диспетчерской службе в сутки около 2000 значений мутности, величины pH и скорости осветления коагулированной взвеси проб воды с разных участков технологического процесса, в том числе временные зависимости мутности проб исходной воды и воды с коагулянтном,

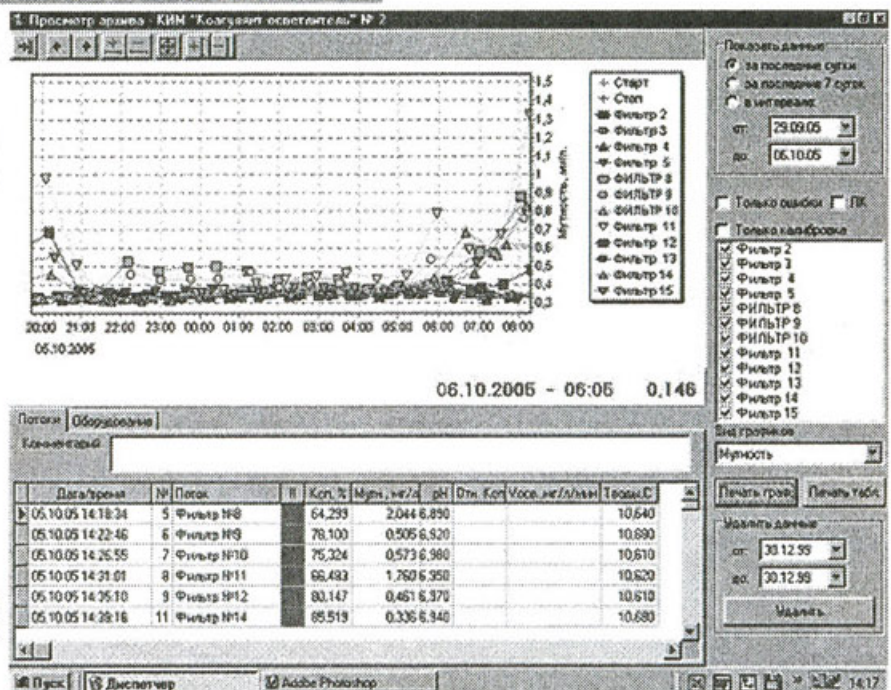


отобранной из водовода после смесителя. Сравнение значений мутности этих двух проб позволяет качественно контролировать стабильность вводимой дозы коагулянта, т.к. введение его в воду в смесителе вызывает повышение её мутности. На рис.6 видно, что кривые на графике изменения мутности

Рис.6. Временные зависимости мутности проб исходной воды, после смесителя, после отстойников

во времени для проб исходной воды (г. Хабаровск, река Амур) и воды, отобранной из водовода после смесителя, идут синхронно до участка «А», на котором наблюдается перерыв дозирования коагулянта, при этом значения мутности обеих проб совпали.

Рис. 7. Временные зависимости мутности проб воды, отобранных после фильтров



Оперативная информация о динамике работы каждого отстойника и фильтра, поступающая от модулей в диспетчерскую (рис. 6, 7), позволяет сменному мастеру своевременно реагировать на изменяющиеся условия технологического процесса и своевременно планировать промывку фильтров и регламентный сброс осадка с отстойников. На рис.6 представлены временные зависимости мутности проб исходной воды, а также воды, отобранной после смесителя и отстойников №№ 1-4 и объединённой пробы отстойников №№ 5-9 в течение полутора суток. Участок «А» (совпадение значений мутности проб воды исходной и отобранной после смесителя №1) отображает прекращение подачи коагулянта. Из графиков видно, что процесс осветления коагулированной воды в отстойниках 2-й очереди (отстойники 5-9) протекает эффективнее. Среднее значения мутности этой пробы ~ 5 мг/л, а для отстойников 1-й очереди - более 10 мг/л. Как видно на рис. 7, этот факт способствует



достижению более глубокой степени очистки фильтрованной воды именно 2-й очередью станции. Результаты получены 5-6 октября 2005 года на КИМ «Коагулянт-Осветлитель» №1.

На рис.7 отображены временные зависимости мутности проб воды, отобранных после 12 фильтров, в течение суток. Среднее время фильтроцикла ~ 12 часов. Среднее значение мутности фильтрованной воды 1-й очереди станции ~ 5 мг/л, а то же 2-й очереди составляет ~0,3 мг/л. Видна чёткая связь между работой отстойников и глубиной очистки воды фильтрами. Результаты получены 5-6 октября 2005 года на КИМ «Коагулянт-Осветлитель» №2.

Возможность оперативного перераспределения нагрузки между отдельными фильтрами, форсирования режимов некоторых из них способствует приросту производительности станции, а также увеличению времени фильтроцикла в среднем на 10% [5].

2. Контрольно-измерительный и управляющий модуль автоматического дозирования коагулянта и флокулянта (КИМ АДКФ)

Разработка этого модуля была выполнена в 2000 году по заказу МУП «Водоканал» города Хабаровска.

КИМ АДКФ автоматически определяет дозы коагулянта и флокулянта в очищаемой воде, причём дозу флокулянта – «по расходам» (зная расходы сырой воды и рабочего раствора реагента), а дозу коагулянта – двумя способами: «по расходам» и «по изменению электропроводности» очищаемой воды, обусловленному введением в неё коагулянта. При определении дозы коагулянта «по изменению электропроводности» не требуется знания величин расходов сырой воды и рабочего раствора коагулянта (т.е. наличия соответствующих расходомеров), а также его плотности и концентрации. При этом градуировка модуля АДКФ при кондуктометрическом определении дозы коагулянта производится с использованием аттестованной методики (для алюминиевого коагулянта - СВИДЕТЕЛЬСТВО РФ №222.01.02.284/2004) определения концентрации коагулянта в очищаемой воде.

Решаемые задачи:

- автоматическое измерение доз коагулянта и флокулянта в очищаемой воде;
- автоматическое управление дозирующими устройствами. Точность дозирования 5-7%;
- автоматический контроль исправности цепей управления и дозирующих устройств;
- автоматическая самодиагностика исправности основных электрических узлов модуля;
- автоматическая очистка электродов кондуктометрического датчика;
- автоматический анализ эффективности применяемого закона управления дозирующими устройствами;
- реализован алгоритм безопасности технологического процесса;
- автоматический контроль поступления проб очищаемой воды;

- накопление архива данных.

Достигаемые результаты:

- стабилизация дозирования коагулянта и флокулянта независимо от расхода сырой воды;
- стабилизация работы отстойников и фильтров и, как результат, экономия реагентов в среднем на 10% и экономия расхода воды на собственные нужды в среднем на 10%;
- устойчивое повышение качества очищаемой воды;
- повышение технологической дисциплины и культуры производства вследствие полной подотчётности технологического персонала (результаты работы всех смен хранятся в архиве данных компьютера).

Одной из составных частей КИМ АДК, подобно КИМ «Коагулянт-Осветлитель», является блок приёма и распределения потоков.

К этому блоку подводятся 2 пробы воды: исходной и отобранной из водовода после смесителя. Обе пробы поочерёдно поступают в кондуктометрическую ячейку, в которой производится измерение величин их удельной электропроводности. Разность измеренных значений удельной электропроводности однозначно связана с дозой коагулянта.

КИМ АДКФ измеряет и отображает на мониторе компьютера в диспетчерской около 90 технологических и контрольных параметров. Из них основными технологическими параметрами являются расходы рабочих растворов коагулянта, флокулянта, расход сырой воды, величины электропроводности проб очищаемой воды до и после дозирования коагулянта, рабочие частоты частотных приводов насосов-дозаторов, величины управляющих сигналов и дозы коагулянта.

В стандартной схеме автоматизации процесса дозирования реагентов «по расходам» необходимое количество коагулянта определённой концентрации добавляется в обрабатываемую воду пропорционально её расходу. При этом доза коагулянта D_k рассчитывается по формуле (1):

$$D_k = (10^4 * q_k * P * C) / Q_b \quad (1), \text{ где:}$$

q_k - расход рабочего раствора коагулянта, м³/час,

P и C – плотность, г/см³, и концентрация рабочего раствора коагулянта, % вес.,

Q_b - расход сырой воды, м³/час.

Для реализации метода дозирования «по расходам», как видно из формулы (1), необходимо наличие аттестованных расходомеров сырой воды и рабочего раствора коагулянта, а также знание его концентрации и плотности.

При внедрении систем автоматического дозирования коагулянта КИМ АДК (КИМ АДК - разработка, предшествующая КИМ АДКФ) мы неоднократно сталкивались



с неисправностями штатных расходомеров. Так, например, на Чусовских ОСВ г. Перми, из-за выхода из строя во время грозы нескольких расходомеров, реализация автоматического дозирования коагулянта на трех очередях станции, производительность которой составляет около 400 000 м³/сут., стала возможной только благодаря кондуктометрическому методу измерения его дозы, реализованному в модулях КИМ АДК.

В модуле АДКФ также применён кондуктометрический метод определения дозы используемого коагулянта, не требующий знания расходов (т.е. наличия аттестованных расходомеров) сырой воды и рабочего раствора коагулянта, а также его плотности и концентрации. На рис.8, в окне архива программы «УНИТОК-ДИСПЕТЧЕР», представлены графики временных зависимостей электропроводности (в условных величинах) проб речной воды и воды с коагулянтном на 1-й очереди ГОСВ г. Хабаровска за период времени с 29.12.06 г по 28.01.07 г. При неизменной дозе коагулянта графики подобны друг другу. Осцилляции на графике зависимости электропроводности пробы воды с коагулянтном (отобрана после смесителя, обозначение «См1») от времени являются отражением переходных процессов автоматического управления при изменении расхода исходной воды, приходящей

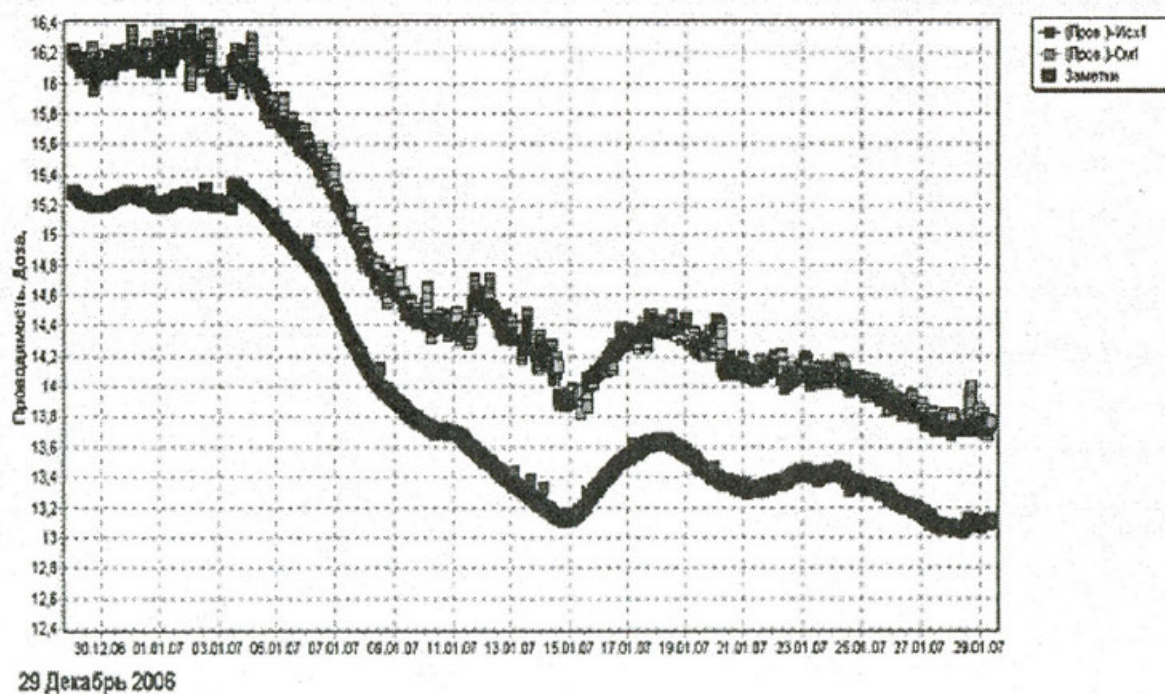


Рис. 8. Временные зависимости электропроводности воды

на смеситель № 1, и концентрации рабочего раствора коагулянта при переходе «с бака на бак».

В автоматическом режиме управления дозированием коагулянта модуль АДКФ поддерживает заданную оператором его дозу, причём не имеет значения какого: оксихлорида алюминия (ОХА) или сульфата алюминия. На рис. 9 приведены временные зависимости доз коагулянта ОХА двух очередей ГОСВ г. Хабаровска. Способ автоматического управления дозированием коагулянта - «по изменению проводимости». Заданные дозы: для смесителя №1 - 9,5 мг/л, для смесителя №2 -

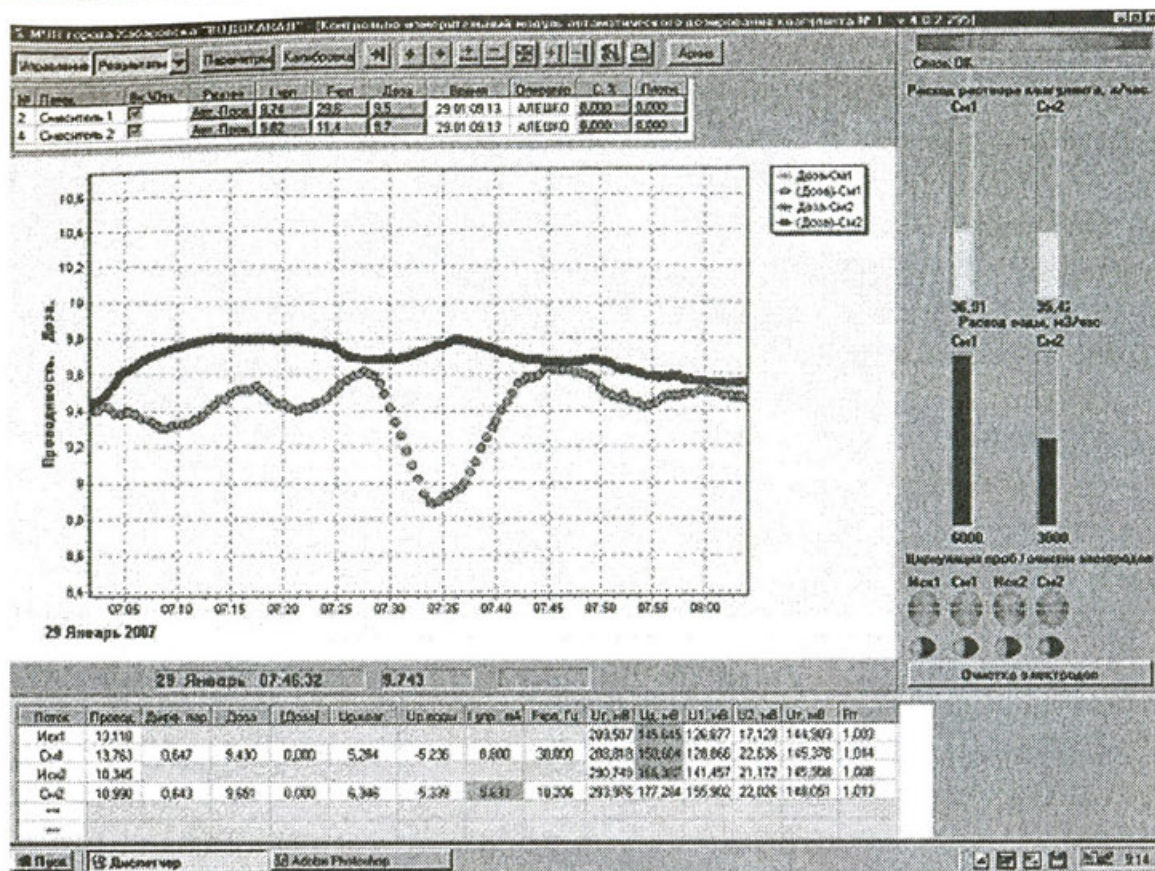


Рис. 9. Временные зависимости доз коагулянта ОХА в воде

9,7 мг/л. На 1-й очереди в 7:30 увеличен расход сырой воды на 15%. Как видно на графике, модуль автоматически восстанавливает заданное значение дозы коагулянта за 10 минут.

В ручном режиме управления дозированием коагулянта модуль отслеживает временную зависимость его дозы без её автоматической коррекции. Технолог или сменный мастер имеют при этом возможность дистанционного управления насосами, подающими рабочий раствор коагулянта в очищаемую воду, и проведения необходимых градуировок.

После внедрения модулей АДК, как правило, благодаря стабилизации процесса дозирования коагулянта отстойники, контактные осветлители и фильтры также стабилизируют свою работу. Следствием этого является увеличение фильтроцикла фильтровального оборудования в среднем на 10%.

Как говорилось ранее, современные средства автоматизации, широкий класс контроллеров, промышленных компьютеров и компьютерные технологии являются надёжной основой для автоматического контроля и оптимального управления технологическими процессами. Они предоставляют возможность в рамках организованной АСУ ТП реализовать алгоритм контроля достоверности получаемой оборудованием информации и адекватности принимаемых решений при управлении исполнительными механизмами. Этот алгоритм мы называем «алгоритмом безопасности технологического процесса» и его реализации в модулях и их программном обеспечении «УНИТОК-ДИСПЕТЧЕР» уделяется особое внимание.



Например, программным обеспечением «УНИТОК-ДИСПЕТЧЕР» запрещается режим автоматического управления дозированием реагентов при несвоевременной градуировке обслуживающим персоналом модуля КИМ АДКФ, при отсутствии анализируемых проб, при выходе ряда параметров электрических схем за пределы интервалов их допустимых значений, при неисправности блоков приёма и распределения потоков, автоматической очистки датчиков и неэффективности применяемого закона управления.

К настоящему времени КИМ «Коагулянт-Осветитель» и КИМ АДК(Ф) работают на двадцати водоочистных станциях России и на ГОС ГКП «Водоканал» г. Алматы республики Казахстан, причём в городе Хабаровске установлено 8 модулей на трех станциях, в Новосибирске - 6 модулей на двух станциях, Комсомольске-на-Амуре - 6 модулей на двух станциях.

При своём появлении на водоочистой станции рассматриваемое оборудование начинает объединять в работе 4 службы предприятия: диспетчерскую, технологическую, службы КИП и АСУ ТП. Нередко внедрение модулей совпадает с организацией службы АСУ ТП предприятия и всегда сопровождается реальной оптимизацией технологического процесса реагентной очистки воды как по экономическим, так и по качественным её показателям.

Выводы:

1. Модуль КИМ «Коагулянт-Осветитель» в режиме оперативного контроля значений мутности, величины pH и скорости осветления коагулированной взвеси в пробах воды с различных участков технологического процесса предоставляет диспетчеру информацию об оптимальности протекания процесса её реагентной очистки. Оперативность принятия решений способствует экономии расходов реагентов (в среднем на 10%) и воды на собственные нужды (в среднем на 10%), повышению производительности станции, а также получению стабильного качества очищаемой воды по остаточному алюминию, железу, хлорорганическим и иным примесям, особенно в периоды дождей и паводков.

2. Автоматизация процесса дозирования реагентов модулем КИМ АДКФ позволяет постоянно поддерживать их оптимальные дозы. При этом осуществляется контроль работы дозирующего оборудования. При автоматическом управлении дозированием коагулянта «по проводимости» не требуется знания расходов исходной воды и рабочего раствора коагулянта, а также значений его концентрации и плотности. Отклонение от оптимальных доз реагентов составляет не более 5-7%, что способствует стабилизации работы отстойников, контактных осветлителей и фильтров.

3. Оперативная информация о динамике работы каждого отстойника и фильтра позволяет сменному мастеру своевременно реагировать на изменяющиеся условия технологического процесса и планировать технологические мероприятия, такие как промывка фильтров и регламентный сброс осадка с отстойников.

4. Архивные данные модулей «Коагулянт-Осветитель» и КИМ АДКФ предоставляют возможность технологу станции установить причинно-следственную связь между событиями «дозы коагулянта и флокулянта > мутность воды в

отстойниках > качество фильтрата», и тем самым осуществлять контроль работы сменного мастера, а сменному мастеру - прогнозировать технологические режимы, а также контролировать работу персонала, участвующего в процессе эксплуатации сооружений.

Литература

1. Штернер С.Р. Целевой проект по решению проблем повышения качества питьевой воды на очистных сооружениях предприятий «Водоканал», а также воды для технологических целей, очищаемой в водоподготовительных цехах промышленных предприятий. Концепция программы - «Вода питьевая - чистая вода». //Республика Казахстан.- Водные ресурсы и водопользование. 2005, №8(20), с.27-30.
2. Штернер С.Р. Методы оптимизации действующих технологий реагентной очистки воды средствами АСУ ТП.//Материалы научно-практического семинара «Современные технологии обеспечения надёжности систем водоснабжения и водоотведения», 19-21 апреля 2005г. – Новосибирск, с.39-40.
3. Штернер С.Р., Лузгин С.Л. Оптимизация технологии реагентной очистки воды средствами АСУ ТП.// Материалы II международной научно-практической конференции «Решение водохозяйственных проблем в сибирском регионе», 27-28 октября 2005г. -Новосибирск, с.41-43.
4. Штернер С.Р. Автоматический корректор технологии водоподготовки - контрольно-измерительный модуль «Коагулянт-Осветлитель».// Водоснабжение и санитарная техника. 1997, №7, с.21-23.
5. Стеблевский В.И., Домнин К.В., Архипова Е.Е., Билецкий А.Г. Работа оборудования ООО «Научно-внедренческий центр УНИТОК» г. Екатеринбурга на «головных» и «горячих» очистных сооружениях г. Хабаровска.// Республика Казахстан.- Водные ресурсы и водопользование. 2005, №10(22), с.37-42.

