

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 502.656

В. А. Алексеев, доктор технических наук, профессор
В. П. Усольцев, кандидат технических наук, ведущий инженер-электроник
С. И. Юран, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ АВАРИЙНЫМИ СБРОСАМИ
В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Проведены исследования по управлению аварийными сбросами неоднородной оптической плотности в системах очистки сточных вод для оперативного определения появления уровня загрязнения и устранения аварийных ситуаций. Доказана необходимость применения при разработке и настройке аппаратуры для выделения и контроля конкретных загрязнителей сточных вод математического аппарата проектирования проблемно ориентированных автоматизированных систем, учитывающего случайные параметры потока появления аварийных сгустков и длительность их протекания для конкретного очистного сооружения.

Ключевые слова: аварийный выброс загрязняющих веществ, аппаратура контроля, моделирование, мониторинг, оптическая плотность, сточные воды.

Одной из наиболее значимых систем жизнеобеспечения любого населенного пункта является водоотведение и очистка хозяйственно-бытовых, промышленных и поверхностных (ливневых) сточных вод, т. е. вод, сбрасываемых в установленном порядке в водные объекты после ее использования или поступивших с загрязненной территории [1].

Сточные воды являются основным источником микробного загрязнения объектов окружающей среды, в том числе поверхностных пресных и морских вод, подземных водоносных горизонтов, питьевой воды и почвы, что является фактором риска распространения возбудителей инфекций с фекально-оральным механизмом передачи. Практически все виды сточных вод могут содержать патогенные микроорганизмы – возбудители таких инфекций, как холера, брюшной тиф, паратиф А и В, сальмонеллез, дизентерия, вирусные гепатиты А и Е, полиомиелиты 1–3-го типов и другие энтеровирусные и аденовирусные заболевания, амебиаз, лямблиоз, лептоспироз, бруцеллез, туляремия, туберкулез, гельминтозы, кампилобактериозы.

Загрязнение поверхностных вод началось в России еще в XVI в. С тех пор основным загрязнителем вод было сельское хозяйство. С развитием промышленности и ростом городов стала расти роль коммунальных и промышленных загрязнений. Резкое усиление загрязнений произошло в XX в. Особая опасность связана с совпадением периода роста сбросов загрязненных сточных вод и многовековой тенденции нарастания сухости климата, снижения водности водоемов.

К началу 90-х гг. XX в. в России создалась довольно сложная ситуация. Качество вод большинства поверхностных водоемов страны не отвечало установленным нормативам. Главными загрязняющими поверхностные воды веществами являются нефтепродукты, фенолы, легко окисляемые органические вещества, соединения меди и цинка, аммонийный и нитратный азот.

Следует отметить, что, в общем невысокий уровень технологии в стране способствовал повышенному загрязнению вод. Казалось бы, кризис производства должен остановить рост и даже снизить объемы загрязнения даже при наблюдаемом росте промышленного и коммунального загрязнения вод. Часто складывается парадоксальная картина – наблюдается спад производства, но загрязнения растут. Этому есть две причины. Во-первых, выросла «загрязненность» производства. Оборудование устарело и не ремонтируется вовремя, сырье используется подешевле, поэтому часто оно содержит повышенное содержание вредных веществ, системы водоочистки также находятся в кризисе. Те же проблемы с оборудованием, закупкой необходимых реактивов для очистки и т. д. Во-вторых, в городах возникла масса мелких, часто «теневых» производств, таких как кожевенное, дающих обильные вредные сбросы. Работая полукустарно, они сбрасывают воду обычно либо в городскую канализацию, либо прямо в водоемы. Но городская канализация не приспособлена для очистки таких вод, что в свою очередь ведет к ухудшению работы ее систем очистки.

Наиболее широко распространенными загрязнителями сточных вод являются нефтепродукты – не идентифицированная группа углеводородов нефти, мазута, керосина, масел и их примесей, которые вследствие их высокой токсичности принадлежат, по данным ЮНЕСКО, к числу десяти наиболее опасных загрязнителей окружающей среды. Нефтепродукты могут находиться в растворах в эмульсированном, растворенном виде или образовывать на поверхности плавающий слой.

Наиболее опасны для водоемов сточные воды предприятий химической и нефтехимической промышленности, несмотря на то, что объем их по сравнению с объемом сточных вод предприятий других видов промышленности невелик. Сточные воды предприятий химической и нефтехимической про-

мышленности характеризуются сложным и переменным составом, высокой токсичностью, преимущественным содержанием растворенных, а не взвешенных, загрязнений, поэтому применяемые методы не всегда обеспечивают очистку, достаточную для повторного использования воды на предприятиях. Следовательно, на предприятиях этих отраслей анализ деятельности по охране и рациональному использованию природных ресурсов должен проводиться обязательно и в первую очередь [2].

Сточные воды при производстве должны подвергаться очистке и соответствовать гигиеническим требованиям нормативных документов по охране поверхностных вод. Очистка сточных вод, водопотребление и водоотведение должны осуществляться в соответствии с действующим законодательством и нормативными документами [3].

Органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления, индивидуальные предприниматели и юридические лица в случае, если водные объекты представляют опасность для здоровья населения, обязаны в соответствии с их полномочиями принимать меры по ограничению, приостановлению или запрещению использования указанных водных объектов.

При примерно одинаковой плотности (плотность пресной воды равна 1000 кг/м^3 , нефти – $730\text{--}940 \text{ кг/м}^3$, керосина – 800 кг/м^3 , машинного масла – 910 кг/м^3 , подсолнечного масла – 930 кг/м^3), равной вязкости проблема идентификации и выделения загрязнений известными методами достаточно сложна.

В основе предлагаемого в работе метода контроля водной среды с неоднородной оптической плотностью лежит способность подавляющего большинства органических веществ различных классов поглощать свет в области $250\text{--}280 \text{ нм}$. В этой области интенсивно поглощают ненасыщенные соединения и соединения ароматического ряда с различными группировками атомов, в том числе протеины, фенолы, гуминовые, лигносульфоновые кислоты и другие сложные соединения. Неорганические ионы, за малым исключением, в этой области свет не поглощают [4].

Измеряя величину оптической плотности сточной воды на определенной длине волны и сопоставляя эту величину со значениями нормируемых показателей, характерных для данной конкретной станции очистки, можно установить уровни оптической плотности, соответствующие наличию загрязнений в сточной воде и, таким образом, по величине этого показателя экспрессно контролировать содержание загрязнений в сбрасываемых стоках.

Существование корреляционных связей между оптической плотностью и другими параметрами, характеризующими содержание загрязнений, возможно при достаточно постоянном качественном составе сточных вод. Для больших станций очистки предлагаемый метод очень перспективен. В этом случае следует ожидать, что оптическая плотность будет пропорционально связана с содержанием загрязнений.

Известные ограничения на определение оптической плотности накладывает мутность образцов воды и при-

сутствие взвешенных примесей, которые, рассеивая проходящий через воду свет, увеличивают значение оптической плотности. Поскольку взвешенные примеси очищенного стока в большинстве случаев представляют собой частицы неотстоявшегося активного ила, являющегося веществом органическим по своей природе, поглощение в указанной области взболтанной пробы отражает суммарный углерод, растворенный и присутствующий в виде взвеси активного ила.

Использование традиционного разделения пучка света на две части с прохождением через канал с чистой водой (опорный канал) и сточной водой с примесью (измерительный канал), попадающих на приемники излучения, сопряжено с некоторыми трудностями из-за необходимости имитации чистой воды с изменяющимися допустимыми примесями в опорном канале. Наиболее перспективен динамический контроль, когда значение последующей оптической плотности образца сравнивается с предыдущим значением. Это позволяет оперативно обнаружить примесь и учесть возможное загрязнение оптического тракта.

Существующие методы анализа неоднородных сред, как правило, требуют применения сложной аппаратуры, что не всегда возможно в производственных условиях. В большинстве случаев применение точных методик требует значительного времени для проведения анализа, что не позволяет в режиме реального времени устранять попадание аварийного выброса в систему фильтрации. Поэтому возникла задача оперативного анализа неоднородных водных сред с целью дальнейшего принятия решений о проведении тех или иных защитных мероприятий.

Перечень показателей, предписанных для контроля уровня очистки сточных вод, достаточно велик, а анализ стоимости аналитической техники показал, что создание на каждой водопроводной станции современной аналитической лаборатории является экономически невыгодным.

Для проблемно ориентированного автоматизированного управления аварийными сбросами представим систему физических процессов при протекании сточных вод в виде системы внутренних моделей из последовательной цепи модельных блоков, предназначенных, соответственно, для идентификации вида загрязнения, расчета мощности выброса загрязнителей, характеристик их распространения в различных средах, уровня риска здоровью. Каждый блок снабжается моделью (информационным процессором), входными данными и возможностями адекватного представления результатов на выходе. Входными данными каждого модельного блока могут служить либо измеряемые и статистические данные (из баз данных и знаний, экспертных систем), либо результаты модельных расчетов, поступающие с выхода предыдущего блока, либо и те и другие одновременно, причем с весовыми вкладами, учитывающими уровень неопределенности в каждом из них.

Используем известные методы построения математической модели для математического представления реальности [5], а математическое моделирование – для построения и изучения математических моделей.

Внутренняя модель организована иерархически и содержит несколько уровней пространственной, временной и социальной организации, специализированных, соответствующих региону, городу, району, предприятию, или универсальных, охватывающих все возможные случаи практической реализации. Параллельно предусмотрено несколько уровней иерархии параметров модели, отвечающих разной степени детальности модельного представления процессов, например, может детализироваться как мо-

дель реакции определенной аппаратуры управления на появление загрязнителя. Если модель функционирует правильно, то чем выше уровень, тем более надежная информация в нем накапливается. В модели постоянно будет происходить фоновый процесс, отвечающий за согласование разных уровней представления информации [6]. Алгоритм создания математической модели для проблемно ориентированного автоматизированного управления аварийными сбросами представлен на рис. 1.

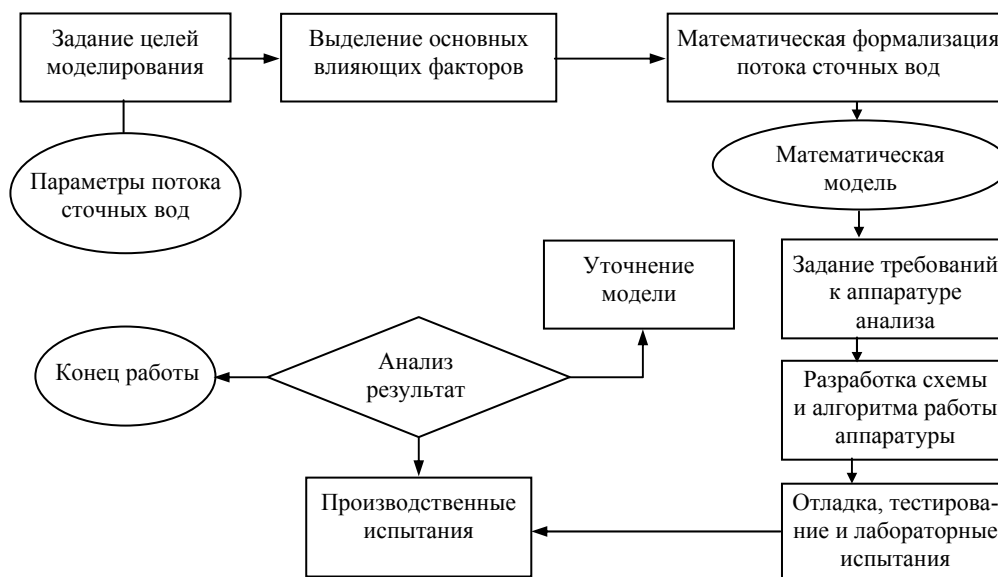


Рис. 1. Алгоритм создания математической модели

На основании разработанных моделей с учетом ранее приведенных исходных данных сформированы требования к аппаратуре контроля, выделены информативные параметры, заданы начальные условия, диапазон изменения рабочих характеристик, установлены научно обоснованные требования к конструкторско-технологическим решениям, чувствительности и помехоустойчивости контрольно-измерительной аппаратуры, определен алгоритм работы, разработаны структурная, функциональная и принципиальная схемы установки.

Для оперативного обнаружения и устранения аварийных выбросов, получения точных исходных данных, проверки адекватности математической модели предложена схема автоматизации устранения аварийных выбросов в реальном масштабе времени [7].

На рис. 2 представлена блок-схема автоматизации устранения аварийных выбросов, содержащая анализатор оптической плотности сточных вод 1, клапан отвода 2, фильтр очистки 3, отстойник или устройства грубой очистки 4, контроллер 5. При малом уровне загрязнения, не превышающем допустимый, вода через клапан отвода 2 поступает на фильтры очистки 3, а затем на дальнейшую очистку.

При выбросе анализатор жидкости 1 вырабатывает сигнал, пропорциональный уровню загрязнения, поступающий на контроллер 5, в котором по соответствующей программе происходит сравнение уровня сигнала с предельно допустимым уровнем.

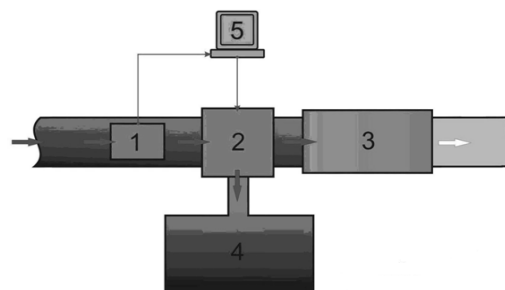


Рис. 2. Блок-схема автоматизации устранения аварийных выбросов

В случае достижения или превышения этого уровня выдается команда на переключение клапана водоотвода 2, и вода, имеющая повышенный уровень загрязнения, поступает в отстойник 4. Из отстойника загрязненная вода либо вновь поступает на устройства грубой очистки, либо утилизируется. Введя дополнительный анализатор жидкости, расположенный на заданном расстоянии от первого, можно определить скорость перемещения «сгустка» и время переключения клапана отвода [8]. В соответствии с загрязнением оптического тракта допустимый уровень загрязнения автоматически корректируется. На основе блок-схемы разработана функциональная схема установки, представленная на рис. 3.

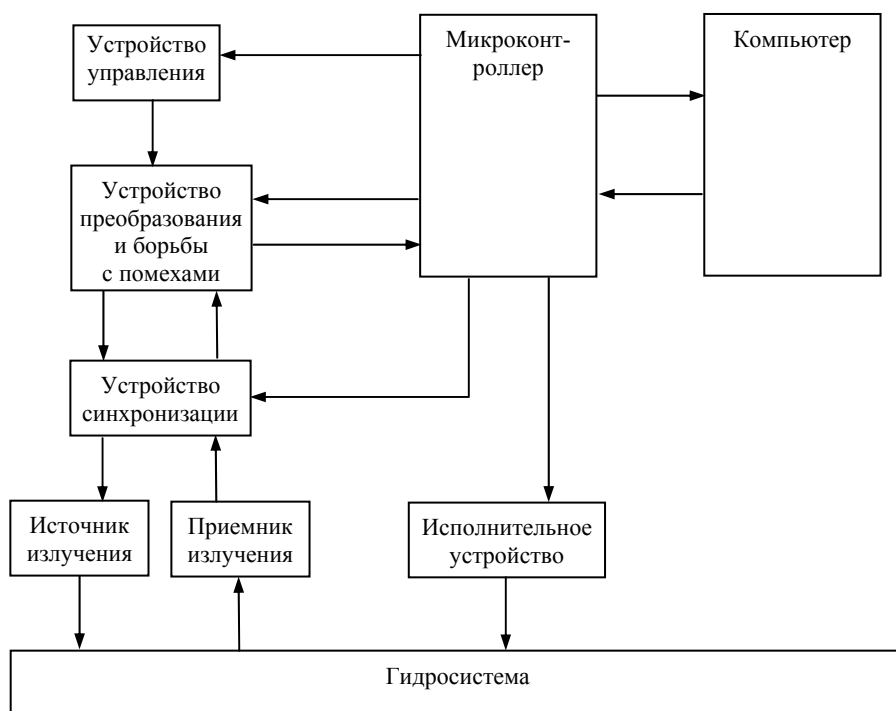


Рис. 3. Функциональная схема установки

Работоспособность схемы автоматизации устранения аварийных выбросов в реальном масштабе времени проверена на лабораторной установке с применением оптических методов контроля свойств жидких сред, имеющих большую перспективу в связи с развитием современных средств оптоэлектроники и лазерных технологий.

Лабораторная установка контроля изменений оптической плотности жидких сред (рис. 4) включает в себя гидросистему для создания смесей 1 с емкостями: для воды 2, для загрязнителя 3, для раствора промывки гидросистемы 4, измерительную систему, содержащую источник 5 и приемник 6 оптического излучения, устройство сопряжения и передачи данных в цифровом виде в компьютер 7 и электромагнитный клапан для управления потоком жидкости на выходе установки 8.

Используемые конструктивные решения позволяют имитировать любое из распространенных распределений времени отсутствия загрязнений и времени протекания «сгустка», вида, содержания и концентрации загрязнений и т. п. На установке в ходе экспериментальных исследований, производимых на ряде тестовых загрязняющих веществ, была показана работоспособность предложенной методики и возможность ее практической реализации.

Для создания промежутков времени между «сгустками» и протекания «сгустков» случайной продолжительности, имеющих заданное распределение, использовался датчик случайной последовательности импульсов [9].

При проведении экспериментов использовались различные источники излучения, например полупроводниковый лазер с длиной волны $\lambda = 619$ нм. Выбор длины волны источника излучения обусловлен опти-

ческими свойствами воды. Из графика, представленного на рис. 5 [10], видно, что спектр линейного коэффициента поглощения воды в области видимого излучения имеет наименьшее значение в синеголубой области, поэтому были выбраны источники излучения в области синего и зеленого участков спектра видимого излучения света.

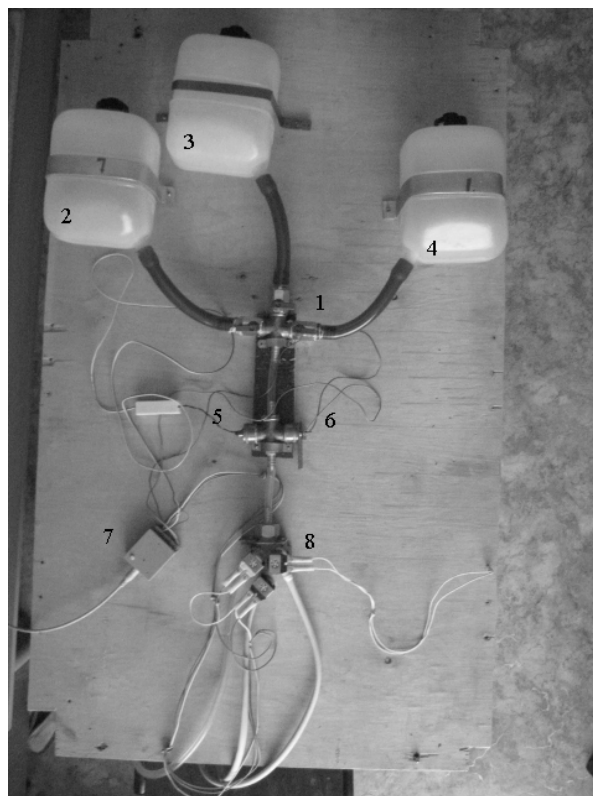


Рис. 4. Внешний вид лабораторной установки

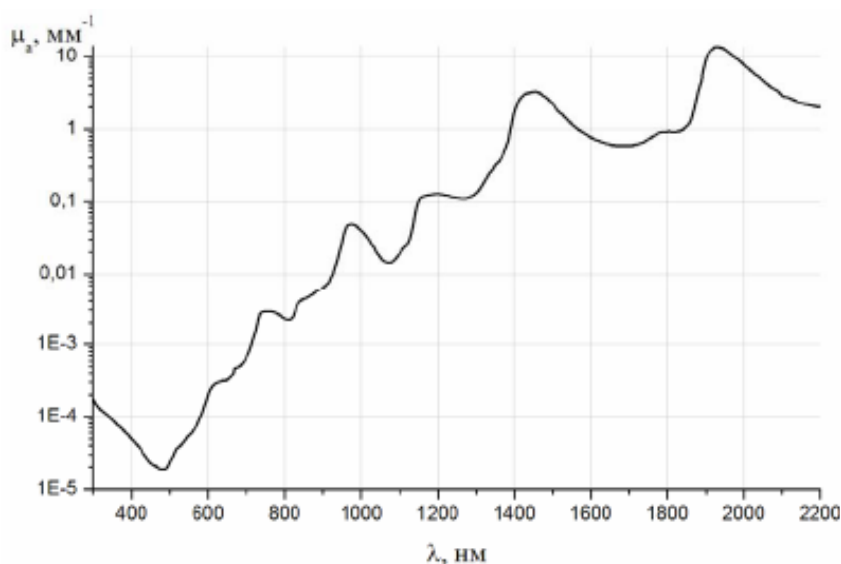


Рис. 5. Спектр поглощения воды

Для определения аварийного выброса, представляющего собой «сгусток» неоднородной жидкости, содержащей загрязняющие вещества, у которого оптическая плотность отличается от оптической плотности контролируемой среды, использовались наиболее распространенные загрязнители, характерные для пищевого и нефтехимического производства, такие как растительное масло, нефть и их смеси.

При пропускании через гидросистему воды с примесью подсолнечного масла в связи с изменением оптической плотности происходит изменение уровня сигнала, что представлено на виртуальной панели управления лабораторной установкой (рис. 6). Как видно из рисунка, уровень сигнала отличается от уровня сигнала при пропускании воды и идентифицируется. Изменяя настройки аппаратуры контроля, можно увеличить разницу сигналов при протекании воды или масла.

Областям под номерами 1, 5 и 9 соответствует прохождение слоя воды через оптический тракт. При прохождении границы сред вода – масло в областях 2, 4, 6, 8 значение сигнала на фотоприемнике скачкообразно повышается до максимального уровня. Областям 3 и 7 соответствует прохождение слоя масла через оптический тракт. Границы сред вода – примесь ярко выражены из-за повышения оптической плотности за счет различной вязкости, разных сил поверхностного натяжения и т. д., входящих в эмульсию компонентов. Если вода после прекращения загрязнения протекает равномерно, то в масле наблюдается некоторая турбулентность за счет вязкости, инерционности и трения о поверхность стенок гидросистемы, особенно на начальном этапе.

На рис. 7 представлены результаты эксперимента, когда по гидросистеме пропускается вода с примесью нефти. При прохождении нефти через оптический тракт оптическая плотность увеличивается, изменение уровней сигнала ярко выражены из-за большей оптической плотности и вязкости нефти.

Области 1 и 5 соответствуют прохождению нефти. Области 2 и 4 соответствуют прохождению границы сред. Область 3 на рисунке соответствует прохождению водного слоя в оптическом тракте. Примесь нефти легко идентифицируются из-за повышенной оптической плотности, вязкости, сил поверхностного натяжения. На границе сред вода – нефть кроме изменения оптической плотности от воды к нефти наблюдаются волнообразные движения, обусловленные нестационарностью движения загрязнителя.

Показатель оптической плотности является относительно новым оптическим параметром, характеризующим содержание примесей в сточных водах. Поэтому, чтобы правильно интерпретировать экспериментальные значения показателя оптической плотности, получаемые на каждой конкретной станции очистки, необходимо построить корреляционные зависимости, позволяющие установить уровни величин показателя оптической плотности, соответствующие различным видам загрязнений сточных вод.

Анализ данных, полученных при апробации метода при различных видах загрязнений, свидетельствует о том, что показатель оптической плотности, так же как и показатель уровня загрязнений, объективно характеризует качество очистки сточных вод. С уменьшением концентрации загрязнений уменьшается, как правило, величина оптической плотности, и наоборот, большим значениям загрязнений соответствуют в целом и более высокие значения оптической плотности.

В настоящее время в соответствии с нормативно-технической документацией контроль содержания отдельных видов загрязнений осуществляется один раз в декаду [11]. Проводя постоянно экспрессное измерение оптической плотности воды, можно сделать контроль более действенным. Если получаются стабильно низкие значения оптической плотности, характерные для данной станции, это указывает на то, что загрязнений нет, и вода отвечает нормативным величинам.

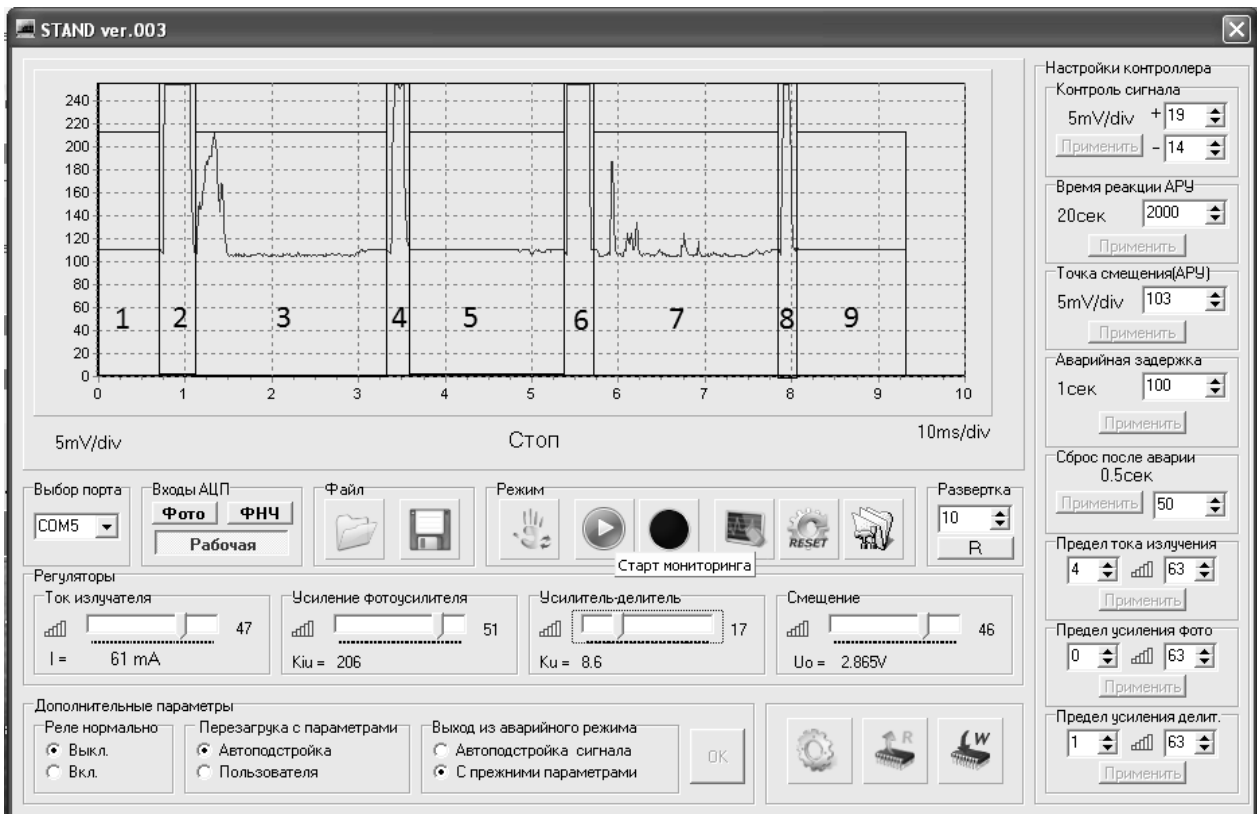


Рис. 6. Проверка автоматизированного устранения аварийных выбросов при загрязнении растительным маслом в реальном масштабе времени на лабораторной установке

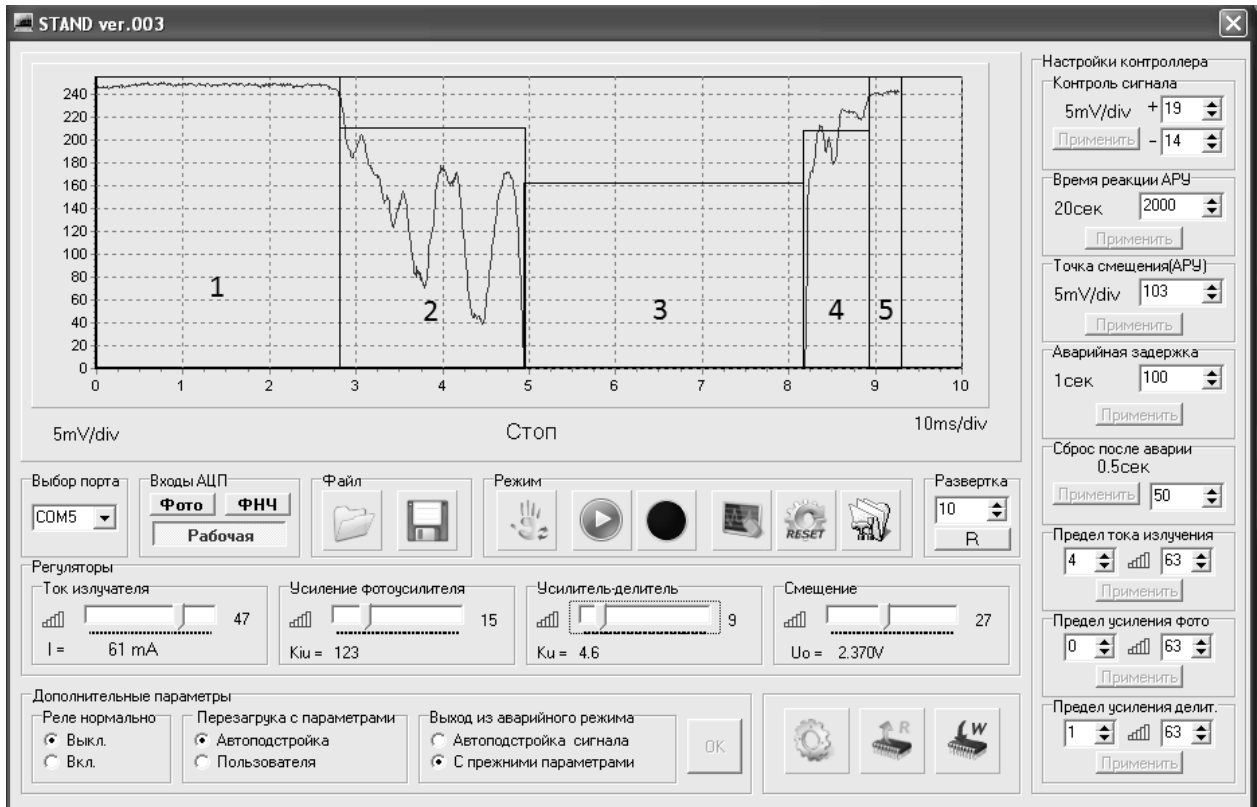


Рис. 7. Проверка автоматизированного устранения аварийных выбросов при загрязнении нефтью в реальном масштабе времени на лабораторной установке

Превышение значения показателя оптической плотности указывает на увеличение содержания примесей или на залповое поступление на станцию загрязняющих веществ. Если длительность сигнала о наличии загрязнений превышает заданный уровень, можно с определенностью зафиксировать залповый выброс промышленных стоков.

Таким образом, величина поглощения света в выделенной области спектра является объективным косвенным показателем суммарного содержания загрязнений в сбрасываемых сточных водах. Учитывая экспрессность определения показателя оптической плотности, его можно использовать для постоянного технологического контроля работы очистных сооружений.

Обработка результатов эксперимента установила полную пригодность разработанной лабораторной установки контроля изменений оптической плотности жидких сред для решения поставленных задач по выбору режимов и отработке технологии контроля аварийных выбросов в сточных водах промышленных предприятий.

Аппаратная часть и программное обеспечение аппаратуры контроля универсальны, согласованы по протоколам обмена данными и полностью адаптированы между собой.

Оптический тракт должным образом защищен от помех, позволяет обнаруживать наличие смеси и, соответственно, контролировать аварийные выбросы в сточных водах. Разработанная установка позволяет уверенно контролировать смеси с содержанием подсолнечного масла и нефти свыше 50 %. Для повышения чувствительности и снижения порога срабатывания к жидкостям, содержащим масло и нефть, необходима замена используемых источника и приемника оптического излучения на оптопару с рабочим спектром в более коротковолновом спектральном диапазоне.

Уровень настроек и регулировок лабораторной установки полон и достаточен для учета и компенсации начальных условий, индивидуальных особенностей, погрешностей и помех жидких сред и смесей.

Таким образом, проведенные исследования показали, что при управлении аварийными сбросами не-

однородной оптической плотности в системах очистки сточных вод для идентификации и устранения аварийных ситуаций с использованием проблемно ориентированных автоматизированных систем необходимо учитывать параметры потока появления аварийных сгустков для конкретного очистного сооружения, т. к. частота их появления определяет эффективность работы оборудования.

Библиографические ссылки

1. Котляревский В. А., Аверченко А. М., Заболотских В. И. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий : учеб. пособие в 5 кн. / под ред. В. А. Котляревского, А. В. Забегаева. – М., 2001. – Кн. 5. – С. 122–136.
2. Протасов В. Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 688 с.
3. Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ (ред. от 25.11.2013) «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».
4. Золотарев В. М., Морозов В. Н., Смирнова Е. В. Оптические постоянные природных и технических сред : справочник. – Л. : Химия, 1984. – 215 с.
5. Безручко Б. П., Смирнов Д. А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. – Саратов : ГосУНЦ «Колледж», 2005. – 320 с.
6. Романов М. Ф., Федоров М. П. Математические модели в экологии : учеб. пособие. – СПб. : Иван Федоров, 2003. – 240 с.
7. Алексеев В. А., Козаченко Е. М., Юран С. И. Автоматическая установка для устранения аварийного выброса в системах фильтрации сточных вод // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 2. – С. 239–243.
8. Пат. № 113845 на полезную модель, МПК⁷: G01N 21/00. Устройство устранения аварийного выброса / Алексеев В. А., Козаченко Е. М., Юран С. И., Перминов А. С. Опубл. 27.02.2012. Бюл. № 16 (Заявка на полезную модель № 2011144701/28 (067035) от 03.11.2011).
9. А. с. № 1431042 СССР, МПК⁷: H03K 3/84. Датчик случайной последовательности импульсов / Усольцев В. П. ; опубл. 15.10.88. Бюл. № 38.
10. Niemz M. H. Laser – Tissue Interactions: Fundamentals and Applications. – Berlin : Springer, 1996. – 305 p.
11. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации. – М. : Стройиздат, 1977. – 303 с.

* * *

V. A. Alekseyev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

V. P. Usoltsev, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU

S. I. Yuran, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

Computer-aided control of emergency dumps in sewage systems

Researches are carried out to control the emergency dumps of non-uniform optical density in systems of sewage treatment for operative definition of occurrence, level of pollution and elimination of emergencies. When developing and adjusting the equipment to allocate and control specific sewage polluting substances, application of the mathematical apparatus of design problem oriented computer-aided systems was proved to be necessary. The applied mathematical apparatus should take into account random flow for appearing emergency clots and duration of their flow for specific sewage facilities.

Keywords: emergency emission of polluting substances, control equipment, modeling, monitoring, optical density, sewage.

Получено: 26.02.15