

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 502.656

*В. А. Алексеев*, доктор технических наук, профессор  
*В. П. Усольцев*, кандидат технических наук  
*С. И. Юран*, доктор технических наук, профессор  
 ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ НАЛИЧИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД

*Проведены исследования изменения оптической плотности жидких сред при изменении конструктивных составляющих оптического тракта и появлении различного рода загрязнений для экспериментального обоснования выбора идентификационных признаков наличия загрязнений сточных вод. Приведена функциональная схема лабораторной установки.*

**Ключевые слова:** сточные воды, загрязнение, предельно допустимая концентрация, изменение оптической плотности, аппаратура контроля.

Загрязнение биосферы, в том числе источников водоснабжения, является реальным фактором, который оказывает отрицательное влияние на здоровье людей. По данным Всемирной организации здравоохранения, от использования некачественной питьевой воды каждый год в мире страдает каждый десятый человек. До 50 % речной воды каждый год подвергается техногенному воздействию, в том числе и в результате сброса  $425 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup> сточных вод. Значительная загрязненность водных объектов и малоэффективные технологии подготовки воды – это главные причины низкого качества питьевой воды. Нарушения требований СанПиН 2.1.4.10749-01, в которых установлены физико-химические и микробиологические показатели питьевой воды, отмечены во всех субъектах РФ. Более 90 % сточных вод, поступающих через коммунальные сети в поверхностные водные объекты, сбрасываются загрязненными.

Сточные воды представляют сложную неоднородную систему, загрязненную разнообразными веществами, которые представлены в ее составе в растворенном и нерастворенном виде, а также в коллоидном состоянии. В составе сточных вод всегда имеются органические и неорганические элементы загрязнений. Вещества органического происхождения в бытовых стоках представлены белками, углеводами, жирами и продуктами физиологической переработки. Помимо этого, в сточных водах содержатся и крупные примеси – отходы растительного происхождения, синтетические поверхностно-активные вещества. Неорганические элементы содержатся в сточной воде в виде ионов хлора, натрия, кальция, магния, калия, карбонатов и сульфатов. Также сточные воды характеризуются наличием таких элементов, как углерод, азот, фосфор, сера, калий. В составе сточных вод обязательно присутствуют и биологические загрязнения в виде грибов, бактерий, мелких водорослей, вирусов.

Степень вредности сточных вод зависит от токсичности загрязняющих ее веществ. Такие примеси,

как соли тяжелых металлов, сероводород, канцерогенные вещества и другие, обуславливают высокую токсичность водной среды. Сточные воды могут содержать пожаро- и взрывоопасные вещества. Наличие большого количества взвешенных веществ, способных полимеризоваться в водном растворе, может приводить к засорению трубопроводов и коллекторов. Часто сточные воды содержат вещества, обладающие резким неприятным запахом (сульфиды, сероводород). Многие сточные воды химических производств окрашены вследствие загрязнения красителями и другими веществами, имеющими окраску. Температура сточных вод может колебаться в различных пределах [1].

Для снижения степени загрязнения сточных вод применяется управление качеством сточных вод, целями которого является:

- соблюдение на выпусках систем канализации населенных пунктов значений допустимых концентраций загрязняющих веществ и общих свойств сточных вод, устанавливаемых специально уполномоченным государственным органом управления использованием и охраной водного фонда;
- защита сетей и сооружений систем канализации населенных пунктов от нарушений регламентов их эксплуатации (предотвращение заиливания, зажиривания, закупорки труб, обеспечение технологического режима очистки);
- недопущение загрязнения поверхностных и подземных источников водоснабжения при отсутствии канализационных сетей и очистных сооружений населенных пунктов.

Чтобы определить состав сточных вод, необходимо сделать множество различных анализов, как химических, так и санитарно-бактериологических. Нормы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых в канализацию, приведены в таблице.

**Нормы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, сбрасываемых в канализацию**

Ингредиент	Единицы измерения	Допустимая концентрация
Биохимическое потребление кислорода	мг / л	145
Взвешенные вещества	мг / л	367
Азот аммонийных солей	мг / л	20
Сульфаты	мг / л	100
Хлориды	мг / л	100
Азот нитратов	мг / л	0,8
Нефтепродукты	мг / л	0,4
Железо	мг / л	1,5
Хром общий	мг / л	0,03
Медь	мг / л	0,1
Никель	мг / л	0,07
Цинк	мг / л	0,05
Свинец	мг / л	0,1
Фосфор общий	мг / л	0,2

Существующие методы анализа сточных вод, как правило, требуют применения сложной аппаратуры, специальных реактивов, большого количества расходных материалов, что не всегда возможно в производственных условиях. Например, для определения содержания азота аммонийных солей в сточных водах используют метод, основанный на взаимодействии иона аммония с реактивом Несслера, в результате которого образуется йодистый ртуть-аммоний желтого цвета:



Для определения содержания нитратов в сточных водах используют метод, основанный на взаимодействии нитратов с сульфосалициловой кислотой с образованием при  $\text{pH} = 9,5\text{--}10,5$  комплексного соединения желтого цвета. Измерения проводят при длине волны излучения 440 нм.

В большинстве случаев применение точных методов требует значительного времени для проведения анализа, что не позволяет в режиме реального времени устранять попадание аварийного выброса в систему фильтрации. В настоящее время в соответствии с нормативно-технической документацией контроль содержания отдельных видов загрязнений в сточных водах осуществляется не чаще, чем один раз в декаду [2]. Поэтому возникает задача достоверного экспресс-анализа наличия загрязнений водных сред с целью дальнейшего принятия решений об оперативном проведении тех или иных защитных мероприятий.

Широкое распространение получили оптические методы анализа неоднородных жидких сред. Действие их основано на взаимосвязи параметров (интенсивность, диапазон длин волн) электромагнитного излучения с составом исследуемой жидкости. При прохождении излучения через жидкость его интенсивность ослабляется из-за поглощения (абсорбции), отражения и рассеяния в области ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных волн. В основе рассмотренных методов контроля лежит способность подавляющего большинства органических веществ различ-

ных классов поглощать свет в области 250–280 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 [3].

Анализ спектральных характеристик основных загрязнителей показывает, что, измеряя величину оптической плотности сточных вод при определенной длине волны и сопоставляя эту величину со значениями нормируемых показателей, характерных для данного конкретного вида загрязнения, можно установить уровни оптической плотности, соответствующие наличию загрязнений в сточной воде, и, таким образом, по величине этого показателя оперативно контролировать содержание загрязнений в сбрасываемых стоках [4].

Существование корреляционных связей между оптической плотностью и другими параметрами, характеризующими виды и уровень загрязнений, позволяет постоянно анализировать качественный состав сточных вод. Для больших станций очистки предлагаемый метод достаточно перспективен; в этом случае оптическая плотность будет пропорционально связана с видом и содержанием загрязнений, на основе чего можно сформировать базу данных кривых измерения оптической плотности неоднородных жидких сред [5].

Для того чтобы аппаратура контроля подтвердила факт наличия загрязнений сточных вод и их виды, параметры зарегистрированных процессов (изменения оптической плотности при определенной длине волны излучения) должны соответствовать истинным параметрам загрязнений (виду и степени загрязнений). Обозначим  $R$  – параметры загрязнения (вид и уровень);  $R_i$  – идентификационные параметры изменения оптической плотности при определенной длине волны излучения, зарегистрированные аппаратурой контроля;  $X_1, X_2, \dots, X_i$  – мешающие факторы, помехи;  $i$  – количество мешающих факторов;  $f$  – функция, связывающая параметры регистрируемых процессов с параметрами загрязнения. Тогда для любого  $i$  должно выполняться соотношение:

$$R = f(R_i, X_1, X_2, \dots, X_i).$$

Если все эти соотношения выполняются, то можно с определенной вероятностью утверждать, что загрязнение установленного вида и степени действительно произошло. Реально для системы распознавания нужно выбрать лишь наиболее существенные критерии идентификации с точки зрения увеличения вероятности правильного решения. Для определения того, выполняется ли то или иное соотношение, нужно знать кроме параметров загрязнения (которые неизвестны) также степень влияния на результаты анализа мешающих факторов. Из-за недостатка репрезентативных статистических данных об отказах, ошибках и технических неполадках в технологическом процессе, авариях на объектах-аналогах, уникальности производственных цик-

лов, отсутствии исчерпывающих исходных данных о производстве, условиях размещения и эксплуатации оборудования, специфичности технологического оборудования влияние указанных факторов целесообразно взять из экспериментальных исследований [6].

Указанные проблемы выдвигают актуальную задачу обоснования выбора идентификационных признаков наличия загрязнений сточных вод для повышения эффективности санитарно-эпидемиологического анализа сточных вод.

Функциональная схема лабораторной установки для исследования изменений оптической плотности водных сред представлена на рис. 1. Используемые конструктивные решения физической модели поступления загрязнения сточных вод и качества очистки промышленных стоков на наличие следов загрязнений, реализованные при создании лабораторной установки, позволяют имитировать любое из распространенных загрязнений, время их устранения, вид, содержание и концентрацию загрязнений, влияние факторов, снижающих достоверность контроля.

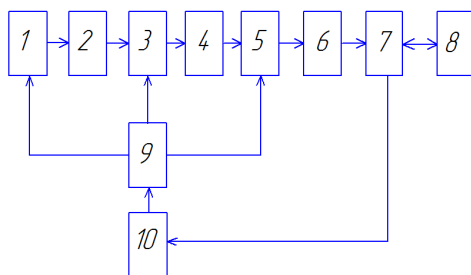


Рис. 1. Функциональная схема лабораторной установки

Установка содержит:

1. Устройство стабилизации тока лазерного излучателя.
2. Лазерный излучатель.
3. Жидкая исследуемая среда.
4. Фотоприемник.
5. Усилитель-формирователь информативного сигнала.
6. Аналого-цифровой преобразователь.
7. Интерфейс.
8. Компьютер.
9. Устройство управления.
10. Устройство формирования импульсов управления.

Приведенные ниже результаты исследований позволили экспериментально обосновать выбор идентификационных признаков загрязнений сточных вод.

В ряде случаев при движении жидкости в закрытых трубах происходит явление, связанное с изменением агрегатного состояния жидкости, т. е. превращение ее в пар с выделением растворенных газов. Это явление возникает в кранах, вентилях, задвижках, жиклерах, гидромашинах (насосах и гидротурбинах) и т. д. Пузыри воздуха возникают на границах раздела жидких сред разной плотности. График изменения оптической плотности, когда между источ-

ником сигнала и фотоприемником находится воздушная среда, представлен на рис. 2.

Для исследования влияния защиты источника и приемника оптического излучения от воздействия водной среды в оптический тракт между источником и приемником вводятся два стекла. График изменения оптической плотности представлен на рис. 3.

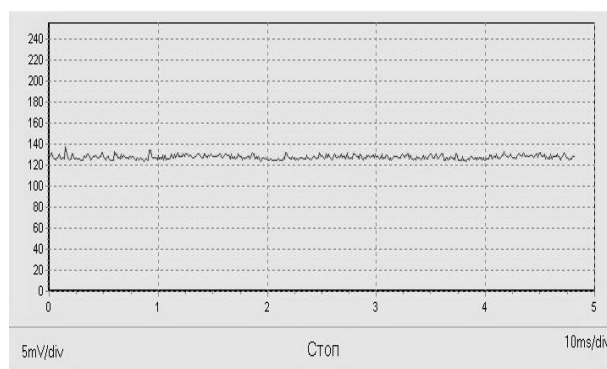


Рис. 2. График изменения оптической плотности воздушной среды

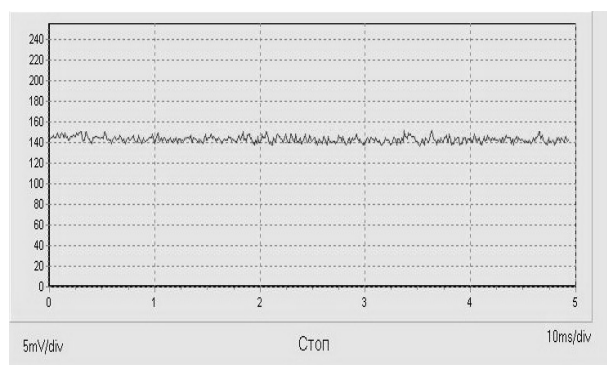


Рис. 3. График изменения оптической плотности при введении защитных стекол

Далее источник и приемник оптического излучения устанавливаются в защитные приспособления с установленными стеклами со специальным просветленным покрытием. График изменения оптической плотности, полученный в результате эксперимента, представлен на рис. 4.

Для возможности идентификации загрязнений биологических растворов получен график изменения оптической плотности при протекании дистиллированной воды (рис. 5). Область, обозначенная на рисунке цифрой 1, соответствует моменту начала прохождения потока дистиллированной воды через оптический тракт и связанному с этим изменением коэффициентов пропускания и отражения среды. Замещение воздуха в оптическом тракте дистиллированной водой вызвало увеличение оптической плотности. Область 2 на рисунке соответствует прохождению потока дистиллированной воды через оптический тракт. Вода не содержит примесей, что наглядно показано отсутствием значительных скачков изменения оптической плотности на протяжении всего времени прохождения воды через опти-

ческий тракт. Область 3 соответствует моменту окончания прохождения потока дистиллированной воды через оптический тракт и замещению ее воздухом.

График изменения оптической плотности при протекании водопроводной воды представлен на рис. 6. Область, обозначенная на рисунке цифрой 1, соответствует моменту начала прохождения потока воды через оптический тракт и изменением коэффициентов пропускания и отражения среды. Замещение воздуха в оптическом тракте водой вызвало повышение оптической плотности излучения. Область 2 на рисунке соответствует прохождению потока воды через оптический тракт. Вода не содержит загрязнений, что наглядно показано отсутствием значительных скачков изменения оптической плотности излучения на протяжении всего времени прохождения воды через оптический тракт. Область 3 соответствует моменту окончания прохождения потока воды через оптический тракт и замещению ее воздухом.

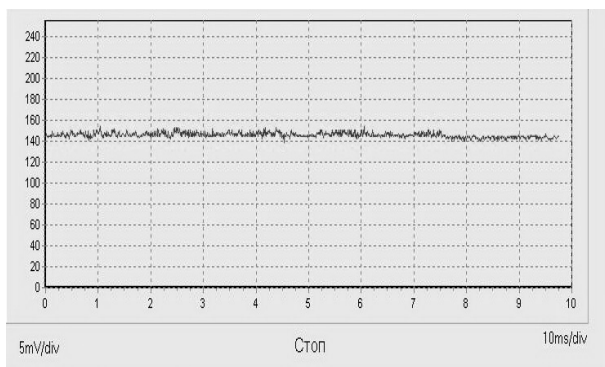


Рис. 4. График изменения оптической плотности при установке защитных приспособлений

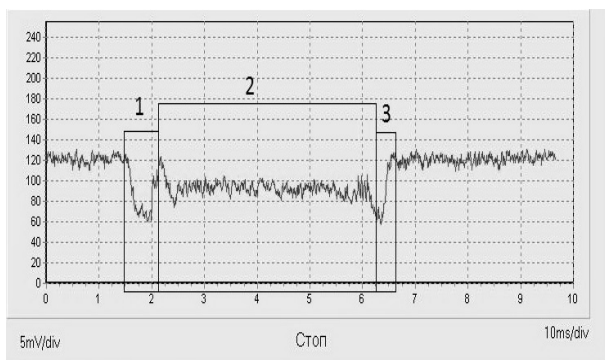


Рис. 5. График изменения оптической плотности при протекании дистиллированной воды

График изменения оптической плотности при протекании загрязнения в виде подсолнечного масла представлен на рис. 7. Оптическая плотность увеличивается, изменение уровней сигналов в начале и конце потока, передний и задний фронты, менее выражены из-за более выраженных поверхностей жидкостей в соответствии с большей вязкостью масла. Область, обозначенная на рисунке цифрой 1, со-

ответствует моменту начала прохождения потока масла через оптический тракт и связанному с этим изменением коэффициентов пропускания и отражения среды. Замещение воды в оптическом тракте маслом вызвало повышение оптической плотности излучения. Область 2 на рисунке соответствует прохождению потока масла через оптический тракт. Область 3 соответствует моменту окончания прохождения потока масла через оптический тракт и замещению его водой.

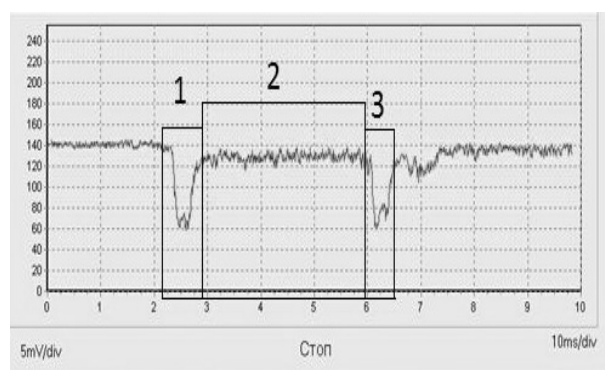


Рис. 6. График изменения оптической плотности при протекании водопроводной воды

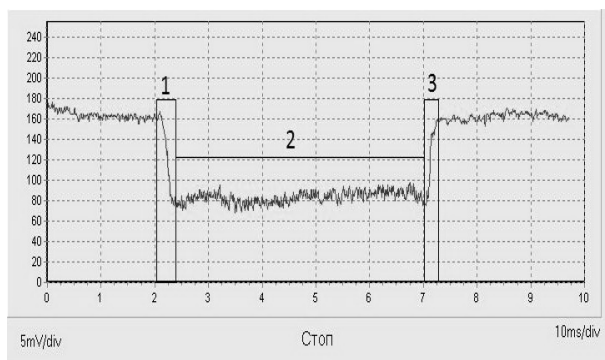


Рис. 7. График изменения оптической плотности при протекании загрязнения в виде подсолнечного масла

Для исследования чувствительности и определения порога срабатывания при обосновании выбора идентификационных признаков загрязнений сточных вод получены графики изменения оптической плотности при протекании загрязнений в виде смеси подсолнечного масла с водой с содержанием подсолнечного масла 30, 40, 60 и 70 %, представленные на рис. 8–11. Область, обозначенная на рисунке цифрой 1, соответствует моменту начала прохождения загрязнения из смеси воды и масла через оптический тракт и связанному с этим изменением коэффициентов пропускания и отражения среды. Неровности и неоднородности переднего фронта протекания смеси вызвали повышение оптической плотности, соответственно, снижение уровня сигнала. Область 2 на рисунке соответствует прохождению смеси через оптический тракт. Область 3 соответствует моменту окончания прохождения смеси из воды и масла через оптический тракт и замещению ее водой.

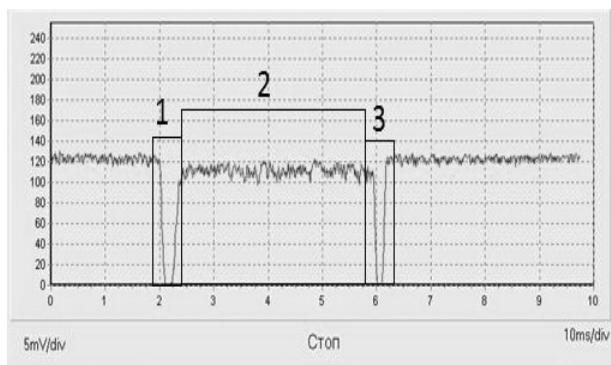


Рис. 8. График изменения оптической плотности при протекании загрязнений в виде смеси подсолнечного масла с водой с содержанием подсолнечного масла 30 %

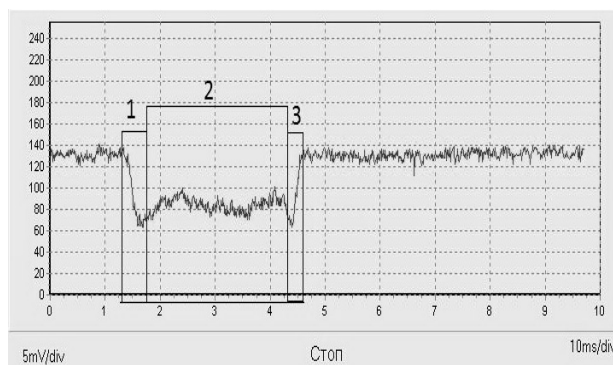


Рис. 11. График изменения оптической плотности при протекании загрязнений в виде смеси подсолнечного масла с водой с содержанием подсолнечного масла 70 %

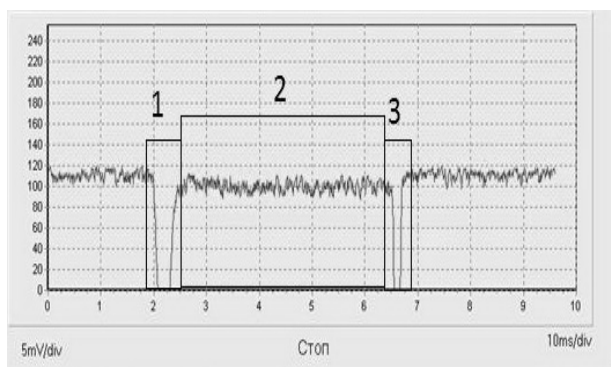


Рис. 9. График изменения оптической плотности при протекании загрязнений в виде смеси подсолнечного масла с водой с содержанием подсолнечного масла 40 %

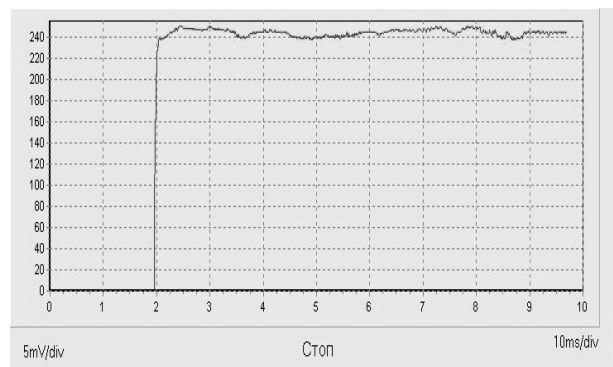


Рис. 12. График изменения оптической плотности при протекании сырой нефти

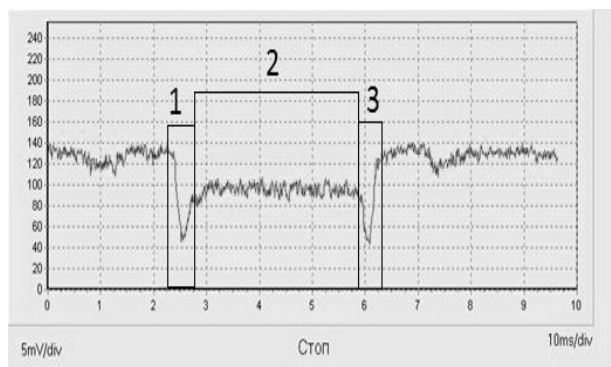


Рис. 10. График изменения оптической плотности при протекании загрязнений в виде смеси подсолнечного масла с водой с содержанием подсолнечного масла 60 %

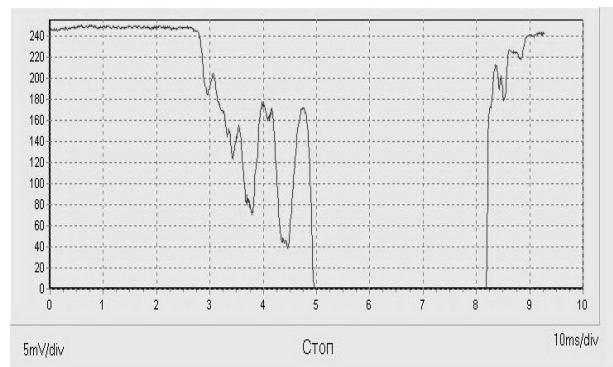


Рис. 13. График изменения оптической плотности при протекании загрязнения в виде сырой нефти

График изменения оптической плотности при протекании сырой нефти представлен на рис. 12, график изменения оптической плотности при протекании загрязнения в виде сырой нефти представлен на рис. 13. На рис. 12 низкий уровень сигнала получен при протекании нефти, высокий соответствует наличию воздуха, на рис. 13 высокий уровень сигнала получен при протекании воды, низкий – нефти, следующий высокий – воды. Низкому уровню сигнала соответствуют составляющие с большей оптической плотностью (сырая нефть), изменение уровней сигналов в начале и конце протекания загрязнения существенно выражены из-за высокой вязкости сырой нефти.

Проведя математическую обработку осциллограмм и вычислив спектральные характеристики, математические ожидания, дисперсии, коэффициенты корреляции по каждому виду загрязнений, можно выделить и компенсировать неинформативные факторы, а также изменения оптических характеристик измерительного тракта в результате загрязнения и тем самым повысить достоверность при идентификации наличия загрязнений сточных вод в конкретных ситуациях. Факт изменения оптической плотности при изменении составляющих оптического тракта, появлении загрязнений можно рассматривать как экспериментальное обоснование выбора идентифи-

кационных признаков наличия загрязнений сточных вод из исследованной группы.

#### Библиографические ссылки

1. Новиков Ю. В. Экология, окружающая среда и человек : учеб. пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : ФАИР-ПРЕСС, 2005. – 736 с.

2. Яковлев С. В., Карелин Я. А., Ласков Ю. М., Воронов Ю. В. Очистка производственных сточных вод / под редакцией С. В. Яковлева. – М. : Стройиздат, 1985. – 335 с.

3. Казыцына Л. А., Куплетская Н. Б. Применение УФ-, ИК-, ЯМР- и масс-спектропии в органической химии. – М. : МГУ, 1979. – 240 с.

4. Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И. Методика тестирования неоднородных жидких оптических сред // Приборостроение в XXI веке – 2013. Интеграция науки, образования и производства : материалы IX Всерос. науч.-

техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 13–15 нояб. 2013 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 349–353.

5. Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И. Методика формирования базы данных кривых изменения оптической плотности неоднородных жидких сред. – // Приборостроение в XXI веке – 2013. Интеграция науки, образования и производства : материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (Ижевск, 13–15 нояб. 2013 г.). – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2014. – С. 354–357.

6. Алексеев В. А., Усольцев В. П., Юран С. И. Идентификация аварийных выбросов в системах фильтрации сточных вод в явно выраженных условиях многомерности и неопределенности // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2 (22) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – С. 173–177.

\*\*\*

*Alekseev V. A.*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

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

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

#### Experimental substantiation of choosing the identification signs for the presence of sewage pollution

*Researches of changing the optical density of liquid fluids are carried out under variation of constructive components of the optical tract and occurrence of various types of pollution for experimental substantiation of choosing the identification signs for the presence of pollution of sewage. A functional block diagram of the laboratory installation is considered.*

**Keywords:** Sewage, pollution, maximum permissible concentration, change in optical density, control equipment.

Получено: 28.09.15