

На правах рукописи

МЕЛЬНИЧУК Ольга Васильевна

**ДАТЧИКИ МУТНОСТИ ЖИДКИХ СРЕД
ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

**Специальность 05.13.05 - Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа–2011

Работа выполнена на кафедре информационно-измерительной техники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Научный
руководитель:

доктор технических наук, доцент
Фетисов Владимир Станиславович
кафедра информационно-измерительной
техники ФГБОУВПО УГАТУ

Официальные
оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Миловзоров Георгий Владимирович
кафедра промышленной электроники
ФГБОУВПО УГАТУ

доктор технических наук
Коровин Валерий Михайлович
ОАО «Башнефтегеофизика»

Ведущая организация:

ФГУП УНПП «Молния»

Защита состоится «24» июня 2011 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д-212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу:

450000, г. Уфа, ул. Карла Маркса, д. 12, корпус 1, актовый зал

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета

Автореферат разослан «23» мая 2011 года.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять в диссертационный совет Д-212.288.02 по адресу: 450000, Уфа-центр, ул. Карла Маркса, д. 12, УГАТУ

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент

В.С. Фетисов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Информация о концентрации взвешенных частиц (или дисперсной фазы - ДФ) в жидких дисперсных системах (ЖДС) - эмульсиях, суспензиях, коллоидных растворах - часто бывает очень важна для управления технологическими процессами. Типичными примерами объектов и процессов, где требуются измерения концентрации ДФ с целью мониторинга или управления технологическим оборудованием, являются: все этапы подачи и очистки воды на станциях подготовки питьевой воды; контроль качества подготовки обратной воды, закачиваемой в скважины на нефтепромыслах для поддавливания нефтеносных пластов; технологические процессы в химической, пищевой промышленности и т.д.

Для промышленных измерений концентрации ДФ в ЖДС наиболее приемлемыми преобразователями являются фотометрические преобразователи, измеряющие мутность – величину, характеризующую способность среды рассеивать свет на частицах ДФ. Соответствующие приборы называются мутномерами, они подразделяются на два основных подкласса – турбидиметры и нефелометры. Градуироваться мутномеры могут как в единицах мутности, так и в единицах концентрации ДФ.

Основной трудностью, возникающей при эксплуатации датчиков мутности, являются паразитные отложения на прозрачных окнах излучателей и фотоприемников, которые постепенно накапливаются и приводят к искажениям результатов и метрологическому отказу. При этом доступ к датчикам часто затруднен или невозможен без остановки технологического процесса, а их обслуживание может быть сопряжено со значительными материальными, временными и трудовыми затратами. Проблема обычно усугубляется тем, что мутномеры рассчитаны на определенный, достаточно узкий диапазон концентраций. Для широкодиапазонных измерений мутности требуется адаптивная перестройка геометрических параметров мутномера и алгоритма его работы.

В решении проблемы метрологической надежности промышленных мутномеров в последние годы наметились положительные сдвиги. Многие приборостроительные фирмы (GLI (США), Endress+Hauser, Sigrist Photometer (Швейцария), WTW (Германия) и другие) выпускают мутномеры со встроенными автоматическими средствами очистки внешних оптических элементов, что значительно увеличивает межрегламентный период (время, в течение которого датчик может работать без обслуживания персоналом). Однако надежность мутномеров для многих задач по-прежнему недостаточна: причиной являются возможные отказы подвижных механических частей очистных устройств, низкая эффективность очистки оптики при наличии в ЖДС липкой дисперсной фазы, нерациональность режимов работы очистных механизмов. При определенных схеме построения и режиме работы мутномера его метрологическая надежность и длительность межрегламентного периода обратно зависимы друг от друга;

высокой метрологической надежности можно достигнуть путем сокращения межрегламентного периода. Однако это экономически невыгодно.

Таким образом, создание надежных и достаточно эффективных датчиков мутности, способных длительное время работать без обслуживания, является серьезной задачей, актуальной для многих отраслей производства.

Актуальность работы подтверждается тем, что она была профинансирована грантом Фонда поддержки малых форм предприятий в научно-технической сфере (программа «Участник Молодежного Научно-Инновационного Конкурса» 2009-2011г.).

Цель работы: усовершенствование существующих и создание новых датчиков промышленных мутномеров, имеющих высокую метрологическую надежность при увеличенном межрегламентном периоде.

Исследовательская работа проводилась по трем направлениям:

- усовершенствование турбидиметров с переменной измерительной базой и выяснение их технических возможностей;
- разработка и исследование нового подкласса мутномеров – устройств на базе фотоприемных матриц и специальных алгоритмов обработки изображений;
- разработка автоматических адаптивных систем очистки окон фотоприемников и излучателей.

Для достижения указанной цели в рамках названных направлений решались следующие **задачи**:

- 1) теоретическое и экспериментальное исследования турбидиметров с переменной измерительной базой с целью уточнения их характеристик и технических возможностей;
- 2) обоснование схемы построения полевых фотометрических устройств на базе фотоприемных матриц вместо традиционных одиночных фотоприемников;
- 3) разработка математической модели турбидиметра на базе фотоприемной матрицы и проведение вычислительных экспериментов с целью анализа характеристик этого устройства;
- 4) разработка специальных алгоритмов обработки изображений, полученных с фотоприемной матрицы, для помехоустойчивого определения мутности и степени загрязнения окна фотоприемника и их экспериментальная апробация;
- 5) обоснование, разработка и исследование системы очистки измерительных камер мутномеров на основе комбинированного химического и механического воздействий на отложения и адаптивного управления периодичностью ее включения.

Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов основана на том, что в теоретических построениях использовались законы и подходы, справедливость которых общепризнана, а также известный и корректный математический аппарат; вводимые допущения и ограничения моти-

вировались фактами, известными из практики. Обоснованность методик проведения экспериментов и достоверность их результатов гарантирована применением сертифицированных и аттестованных приборов и выполнением подготовки образцов, градуировки и испытаний в соответствии с действующими российскими и международными стандартами (ГОСТ 29024-91, ISO 7027 и др.).

Методы исследований

Поставленные задачи решались путем теоретических исследований с последующей разработкой, изготовлением и испытанием экспериментальных образцов измерительных преобразователей. Теоретические исследования базировались на использовании положений и методов, применяемых в электронике, оптике, теории измерений. При обработке экспериментальных данных использовались методы математической статистики. Широко использовалось компьютерное моделирование в средах пакетов MAPLE 10.0 и MATLAB 7.0.1. Обработка изображений производилась в среде LabView 8.5.

Научная новизна

1. Предложена уточненная математическая модель для оценки погрешностей турбидиметров с переменной измерительной базой, учитывающая особенности электронной схемы устройства и влияние температурного фактора. Модель позволила выявить диапазоны наиболее предпочтительных (с точки зрения минимизации погрешностей) измерительных баз и оценить влияние на них температуры.

2. Предложен новый адаптивный алгоритм работы турбидиметра с переменной измерительной базой, позволяющий инвариантно измерять мутность и одновременно вычислять степень загрязнения окна фотоприемника отложениями, что может быть использовано для организации рациональной работы системы очистки (Патент РФ на ПИМ № 78948).

3. Предложена новая схема построения мутномеров, основанная на применении фотоприемных матриц, которая позволяет:

- реализовывать логометрический принцип для инвариантных измерений мутности без применения подвижных механических частей;
- производить адаптивную подстройку рабочих параметров мутномера под текущее значение мутности;
- производить анализ пятен отложений на окне фотоприемника, нейтрализовать их влияние и вычислять степень загрязнения окна.

4. Предложена и апробирована эффективная адаптивная система очистки измерительных камер мутномеров, основанная на создании вокруг очищаемого участка малого замкнутого объема, в котором комбинируется химическое и механическое воздействия на отложение (Патент РФ на изобретение № 2370754).

Практическую ценность имеют:

- расчетные программы для сред MAPLE и MATLAB, позволяющие определять основные метрологические характеристики преобразователей;

- рекомендации по применению, проектированию и выбору параметров разработанных средств измерения;
- техническая документация (в виде принципиальных схем, чертежей, алгоритмов и программ) для изготовления разработанных измерительных преобразователей, а также экспериментальные образцы этих преобразователей;
- программно-аппаратные средства обработки сигналов и калибровки разработанных средств измерения, разработанные в среде LabView.

На защиту выносятся:

1. Результаты теоретического и экспериментального исследования турбидиметров с переменной измерительной базой.
2. Схема построения мутномеров на базе фотоприемных матриц.
3. Математическая модель турбидиметра на базе фотоприемной матрицы и результаты вычислительных экспериментов, полученные с ее помощью.
4. Методики и алгоритмы обработки изображений, полученных с фотоприемной матрицы, для помехоустойчивого определения мутности и степени загрязнения окна фотоприемника.
5. Схема построения и результаты исследования системы очистки измерительных камер мутномеров на основе комбинированного химического и механического воздействий на отложения и адаптивного управления периодичностью ее включения.

Реализация результатов работы

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены в ООО НПФ «ФОТОН», г. Уфа. Отдельные результаты работы использованы в учебном процессе в Уфимском государственном авиационном техническом университете.

Апробация работы

Результаты работы докладывались и обсуждались на ряде научных конференций: на XIX Всемирном Конгрессе ИМЕКО (Лиссабон, Португалия, 2009); на Международной конференции IEEE EUROCON 2009 (С.-Петербург, Россия, 2009); на Международной конференции MEFNM 2008 (Будапешт, Венгрия, 2008); на VIII Всероссийской с международным участием конференции молодых учёных и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники» (Красноярск, Россия, 2005); на четвёртой всероссийской зимней школе-семинаре аспирантов и молодых учёных (с международным участием) «Актуальные проблемы науки и техники» (Уфа, Россия, 2009).

Публикации

Опубликовано 19 научных работ, из них 4 – в научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, получено 4 патента.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 66 наименований и трех приложений. Материалы изложены на 172 страницах, содержат 72 иллюстрации и 10 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, представлены результаты, выносимые на защиту, указано, в чем состоят научная новизна и практическая ценность работы.

В **первой главе** на основании анализа известных методов и средств измерения концентрации ДФ в ЖДС сделан вывод, что наибольшей пригодностью и перспективностью в условиях промышленного применения обладают фотометрические устройства, позволяющие определять концентрацию частиц ДФ путем измерения мутности среды.

На различных примерах показаны место и роль датчиков мутности в различных системах управления технологическими процессами. Один из простых примеров их использования приведен на рис.1. Здесь упрощенно показана осветлительная установка (рис.1,а) и ее функциональная схема (рис.1,б). Назначением установки является выдача порциями осветленной воды, полученной путем отстаивания (седиментации частиц), и периодическое удаление накопившегося шлама из донной части резервуара.

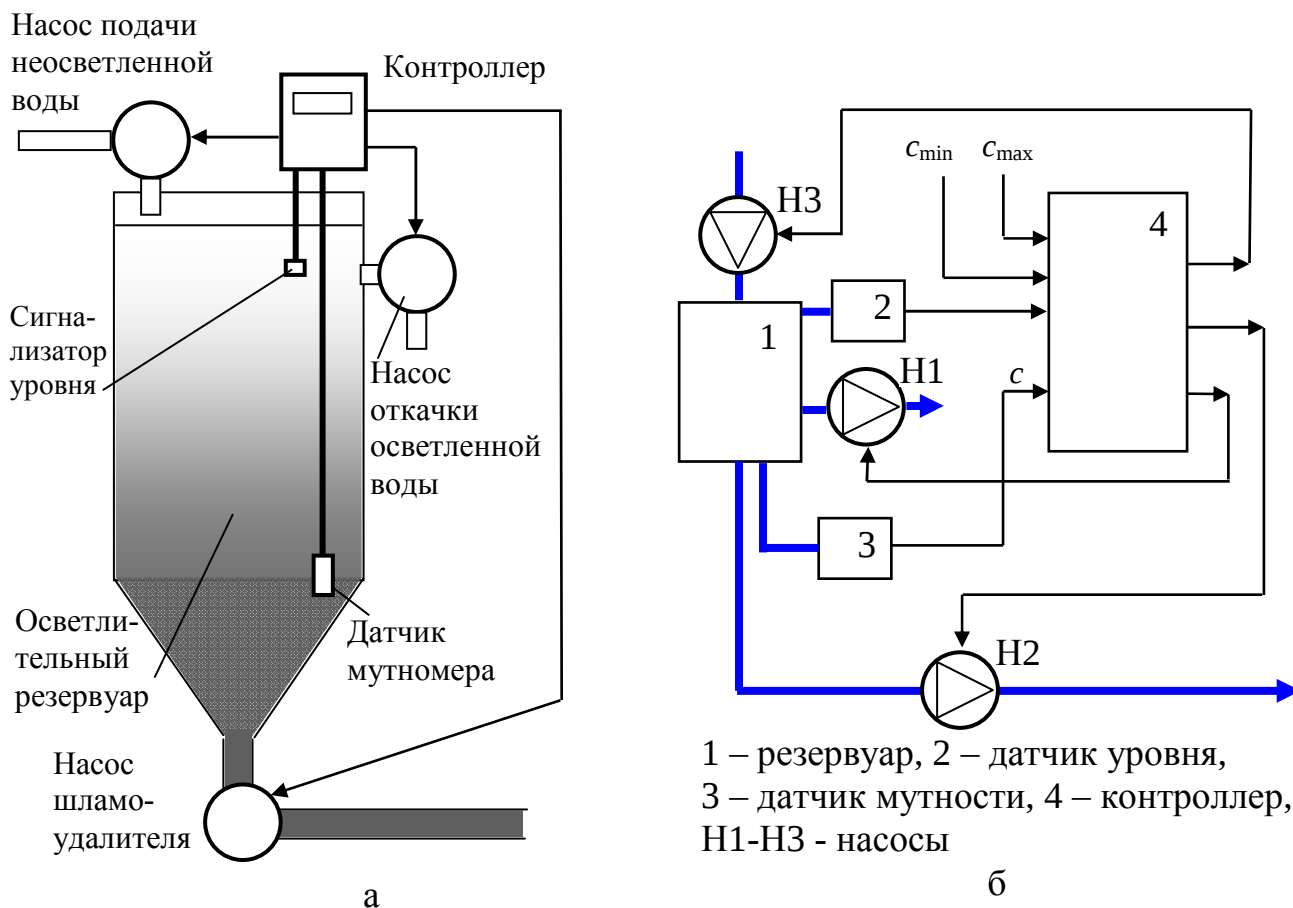


Рисунок 1 – Датчик мутности воды в составе системы управления работой осветлительной установки

Когда в донной части осветлителя (в месте установки датчика мутности) концентрация оседающих частиц превышает заданное значение уставки C_{max} , контроллер формирует сигнал включения насоса откачки осветленной воды Н1.

Эта операция заканчивается по сигналу датчика-сигнализатора уровня. Затем контроллер включает насос шламоудалителя Н2, и шлам откачивается из донной части до момента времени, пока значение выходного сигнала мутномера не упадет до значения уставки $c_{\min}$. После этого контроллер формирует команды останова насоса Н2 и включения насоса подачи новой порции неосветленной воды Н3. Рассмотренное применение датчика мутности типично для большинства технологических процессов, но в тоже время чаще всего они используются в качестве сигнализаторов достижения определенного уровня мутности и инициируют запуск или останов какой-либо технологической операции.

Во многих технологических процессах требуется применение широкодиапазонных мутномеров или отдельных мутномеров с разными диапазонами измерений. Поскольку все стадии процесса протекают довольно медленно и постоянные времени изменения мутности обычно составляют от нескольких секунд до десятков минут, то жесткие требования к мутномерам по части их быстродействия не предъявляются. Очень высокая точность для промышленных мутномеров, как правило, также не требуется; относительная погрешность измерения в 2-5% часто считается приемлемой. Однако актуальным является требование по метрологической надежности; она часто нарушается из-за паразитных отложений на датчиках. Для обеспечения метрологической надежности необходимо выполнение регламентного обслуживания. Межрегламентный период в связи с необходимостью частого удаления паразитных отложений довольно короткий и в зависимости от условий и места установки датчика может составлять 1-10 суток, что делает эксплуатацию датчиков довольно трудозатратной. Эти трудности часто решаются применением, там где это возможно, встроенных механических устройств очистки, включающихся автоматически с заданной периодичностью. Однако нерешенными остаются задачи рационального использования таких устройств и продления их ресурса. Этого можно достичь, используя информацию о характере и количестве накопленных на окнах отложений и применяя адаптивные алгоритмы работы.

Преимущества адаптивного выбора периодичности выполнения регламентных работ (РР) (очистки окон) по сравнению с жестким заданием межрегламентного периода проиллюстрированы на рис.2. Из рис. 2,а видно, что достаточно сложно выбрать межрегламентный период, адекватный скорости увеличения относительной погрешности δ_t , зависящей от скорости роста отложений на окнах, так как последняя может изменяться во времени непредсказуемым образом. Если жестко заданный межрегламентный период окажется недостаточно коротким, то вероятно событие, при котором погрешность превысит заданное значение $\delta_{\max}$ раньше момента выполнения РР, т.е. произойдет метрологический отказ. Если скорость роста погрешности будет невысокой, то межрегламентный период может оказаться неоправданно коротким. Если же момент выполнения РР выбирается адаптивно (рис.2,б), то, во-первых, гарантируется метрологическая надежность мутномера в пределах ресурса устройства

очистки, и, во-вторых, работа устройства очистки становится более экономичной, так как оно включается только по мере необходимости. При этом увеличивается ресурс устройства очистки.

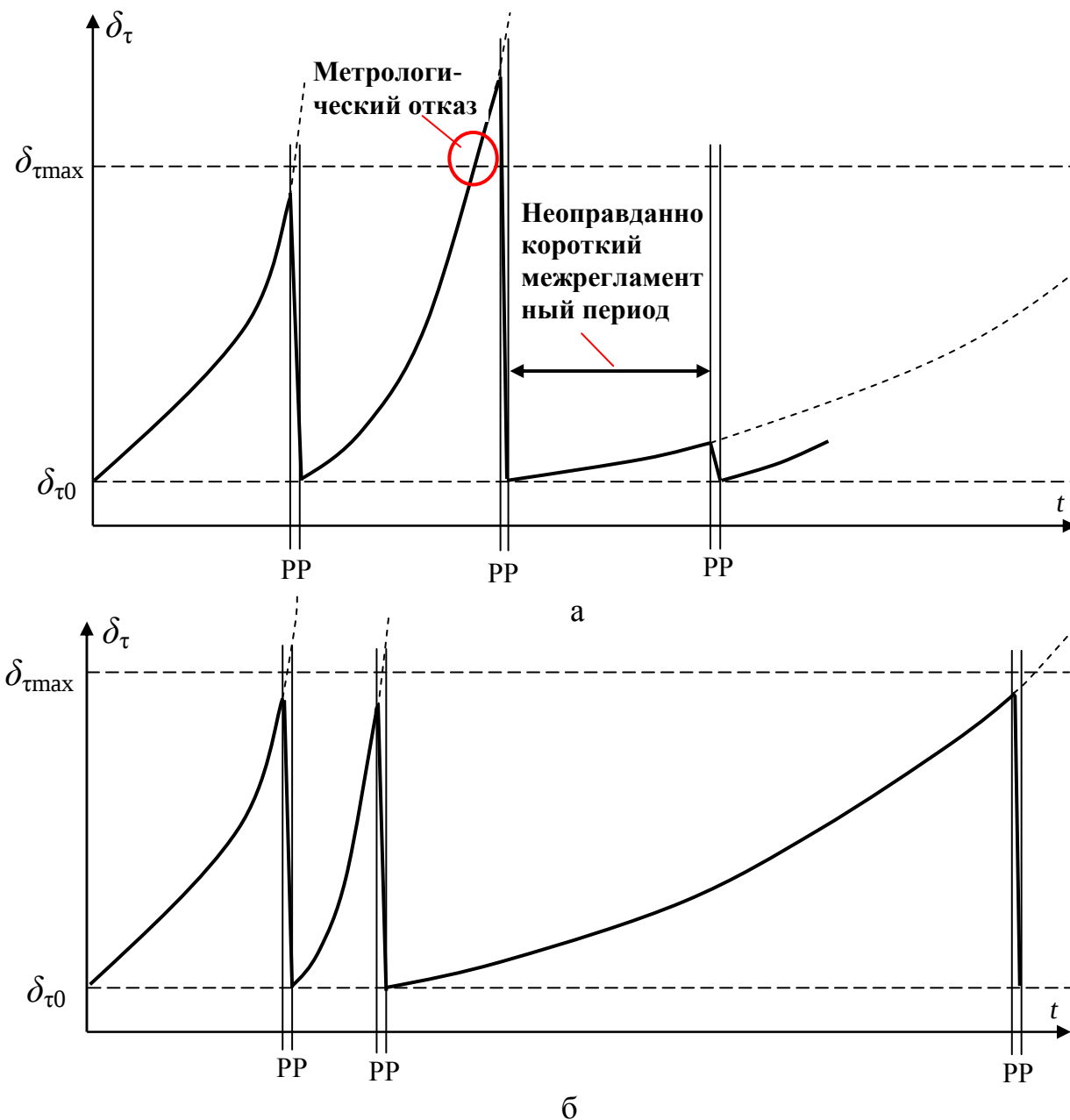


Рисунок 2 – Сравнение традиционной (а) и предлагаемой (б) схем организации регламентных работ (автоматической очистки окон) на датчиках мутномеров

При адаптивном режиме работы устройств очистки сохраняют свою актуальность те меры, которые направлены на замедление роста погрешности в течение межрегламентного периода. Другими словами, актуальны технические решения, которые обеспечивают как можно более длительные и достаточно точные измерения мутности в условиях накопления отложений на окнах фотоприемников. Кроме того, по-прежнему актуальны повышение качества самой очистки и сокращение ее цикла.

Вторая глава посвящена турбидиметрам с переменной измерительной базой. В мутномерах этого подкласса реализуется логометрический принцип измерений, применение которого позволяет получать результаты, инвариантные относительно нестабильных параметров излучателя и фотоприемника и прозрачности окон.

Схематично турбидиметр с переменной измерительной базой показан на рис.3. Коллимированный пучок света от излучателя 1 проходит через прозрачное окно 2, которое может перемещаться под действием привода 3 таким образом, что толщина слоя исследуемой жидкости, который проходит луч (от окна 2 до окна 4), может изменяться от L_1 (максимальная база) до L_2 (минимальная база). Сигнал с фотоприемника 5 поступает на контроллер 6, который вычисляет мутность (концентрацию ДФ) и управляет работой привода 3.

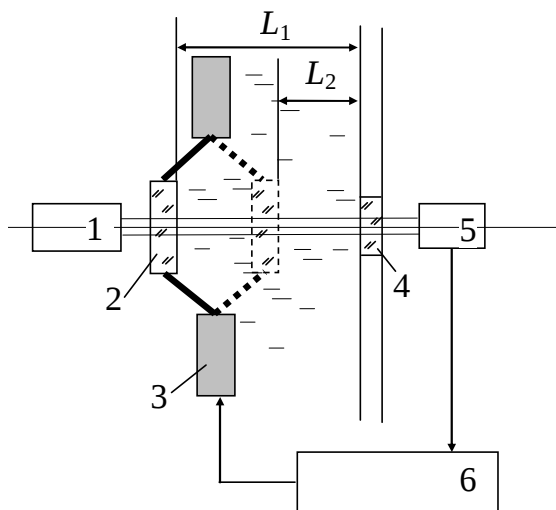


Рисунок 3 – Турбидиметр с переменной измерительной базой

Сигналы U_1 и U_2 на выходе фотоприемника измеряются при двух положениях окна 2, соответствующих расстояниям L_1 и L_2 между фотоприемником и излучателем. Эти сигналы подчиняются следующим зависимостям:

$$U_1 = k \cdot I_0 \cdot e^{-L_1 \tau}, \quad (1)$$

$$U_2 = k \cdot I_0 \cdot e^{-L_2 \tau}, \quad (2)$$

где τ – мутность среды;

I_0 – яркость излучателя;

k – коэффициент преобразования, зависящий, в частности, от степени прозрачности окон фотоприемника и излучателя.

В функции контроллера входит вычисление итогового результата:

$$\tau = \frac{\ln\left(\frac{U_2}{U_1}\right)}{L_1 - L_2}. \quad (3)$$

Сократились нестабильные составляющие k и I_0 . Разность $L_1 - L_2$ является известной константой конкретного турбидиметра. В состав устройства

может входить также датчик перемещений для определения текущих значений базы L .

Проанализированы различные варианты конструктивного исполнения турбидиметров с переменной измерительной базой. Рассмотрены достоинства и недостатки двух альтернативных вариантов конструкций – с погружаемым и непогружаемым приводом. Для разделения воздушной и жидкостной сред и обеспечения герметичности конструкций с подвижными элементами предложено использовать сильфонные узлы (техническое решение защищено патентом РФ на ПМ № 60220).

Разработана принципиальная электрическая схема турбидиметра с переменной измерительной базой.

Разработана математическая модель для оценки погрешности определения мутности данным турбидиметром с учётом влияния температуры и особенностей электронной схемы преобразователя на результат измерения.

Модель погрешности разрабатывалась исходя из формулы (3). При этом значение минимальной базы L_2 принималось постоянным и равным 3 мм. При разработке модели учитывались термозависимые напряжения шумов и другие параметры электронной схемы фотопреобразователя.

Результаты табулирования относительной погрешности определения мутности δ_τ (рис.4) показали, что существует зона наиболее выгодных пар значений (L_1, τ) , в которой δ_τ минимальна. Это значит, что при широкодиапазонных измерениях мутности τ целесообразно адаптировать значения базы L_1 под τ .

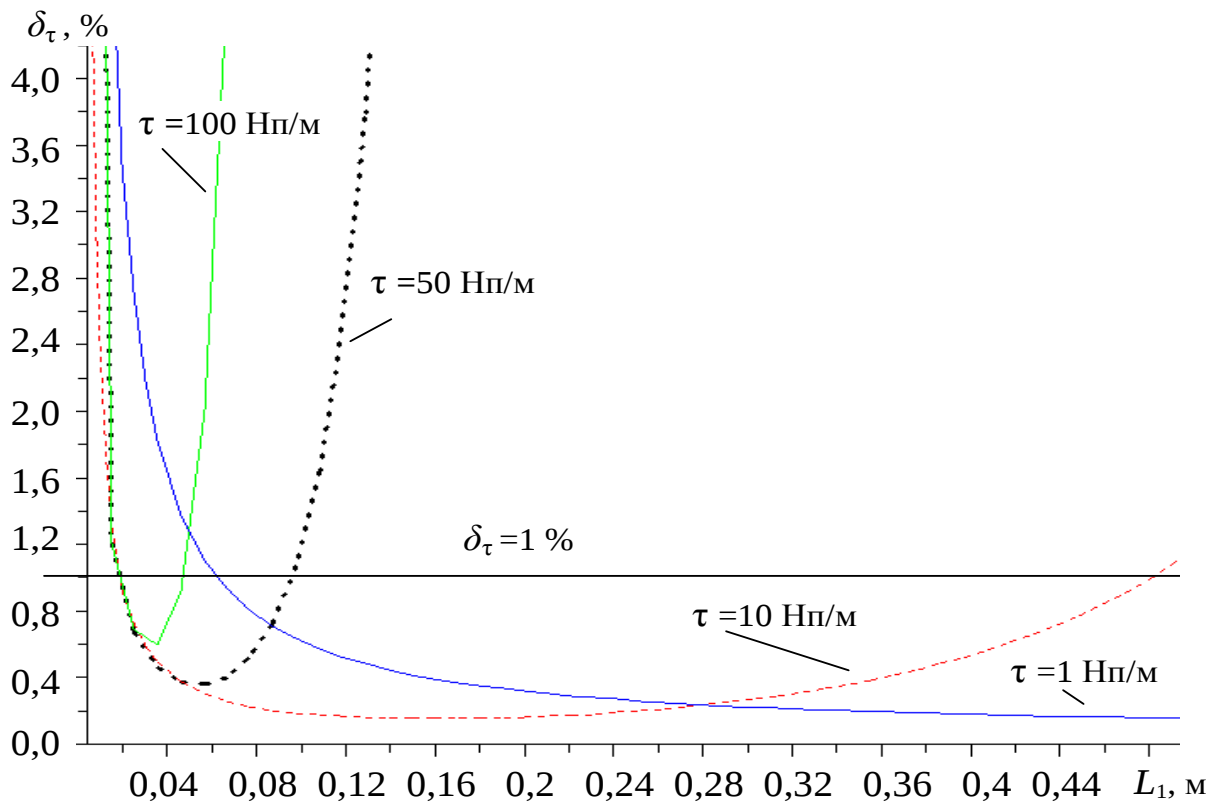


Рисунок 4 - Зависимость относительной погрешности определения мутности δ_τ от базы L_1 при различных значениях мутности среды τ (при $T=293$ K)

С помощью предложенной модели изучено влияние отклонения температуры на $\pm 40^\circ\text{C}$ от температуры градуировки на результат измерений. Выявлено, что если L_1 находится в оптимальной зоне значений, соответствующей текущему значению мутности, то температура не влияет существенно на δ_τ , причём с повышением мутности важность точного адаптивного выбора L_1 в зоне их оптимальных значений возрастает, так как сами зоны с ростом τ сужаются.

Предложен алгоритм работы турбидиметра с адаптивным выбором измерительной базы, который содержит, кроме того, процедуру обнаружения загрязнения окна фотоприёмника и выдачу соответствующей команды для устройства очистки. Для обнаружения загрязнения предложено использовать формулу, полученную из (1) и (2):

$$k = \frac{U_2}{I_0} \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^{\frac{L_2}{L_2 - L_1}}. \quad (4)$$

Коэффициент k связан с прозрачностью окна, что позволяет использовать его для определения момента времени запуска процедуры очистки (очистка инициируется, если $k < k_{\min}$, где $k_{\min}$ – некоторое пороговое значение k).

Экспериментальное изучение турбидиметра с переменной измерительной базой, имеющего диапазон перестройки баз 3..30 мм, показало, что в диапазоне мутности 10..1000 ЕМФ ($\approx 2,5..250$ Нп/м) при работе по адаптивному алгоритму сохраняется приемлемый уровень относительной погрешности ее определения 3..5%, тогда как для алгоритма с фиксированными базами погрешность по краям диапазона в несколько раз выше. Это доказывает полезность адаптивного выбора базы L_1 .

Третья глава посвящена датчикам мутности на основе фотоприемных матриц. Предложена новая схема построения мутномеров, основанная на применении фотоприемных матриц вместо традиционных одиночных фотоприемников.

Разработана математическая модель соответствующего типа турбидиметров. При создании математической модели считалось, что интенсивность принимаемого светового излучения складывается из интенсивности прямого падающего излучения и диффузной интенсивности (интенсивности излучения, претерпевшего однократное отражение от взвешенных частиц среды), сама непрерывная среда считалась непоглощающей.

Вычислительные эксперименты на модели показали, что при измерительной базе 50 мм целесообразно для минимизации погрешностей определения мутности расстояние Δr от центра пучка до периферийной точки выбирать равным 10-12 мм для большей части диапазона 0..1000 ЕМФ.

Предложены методика и соответствующий алгоритм определения мутности в функции R – отношения яркостей центральных и периферийных точек на поверхности окна фотоприемника. Данная методика реализуется в следующей последовательности:

- 1) оценивается яркость центральных пикселей матрицы;
- 2) если центральные пиксели находятся в насыщении, то производится уменьшение яркости излучателя до тех пор, пока фотоприёмные ячейки не будут выведены из состояния насыщения ;
- 3) измеряются (в условных единицах, соответствующих грациям яркости фотоприёмной матрицы) яркости центральной области кадра и некоторой периферийной точки, отстоящей от центра на некотором фиксированном расстоянии Δr ;
- 4) измеренные значения делятся одно на другое и полученное отношение R подставляется в калибровочную формулу, которая представляет собой заранее экспериментально определённую зависимость вида $\tau=f(R)$.

Предложена последовательность обработки изображений, получаемых с фотоприёмной матрицы (рис.5):

- 1) улучшение исходного зашумлённого изображения A , которое состоит в низкочастотной фильтрации или замене его подходящей аппроксимацией (например, гауссовской функцией) и получение изображения-заготовки $\Phi(A)$ для вычисления мутности;
- 2) вычитание матрицы пикселей одного изображения из матрицы другого: $A - \Phi(A) = B$;
- 3) доводка изображения B (подчёркивание контуров, бинаризация, заполнение контуров и др.) и получение «чистой» картины пятен отложений (C). Последнее изображение можно использовать для вычисления относительной площади отложений.

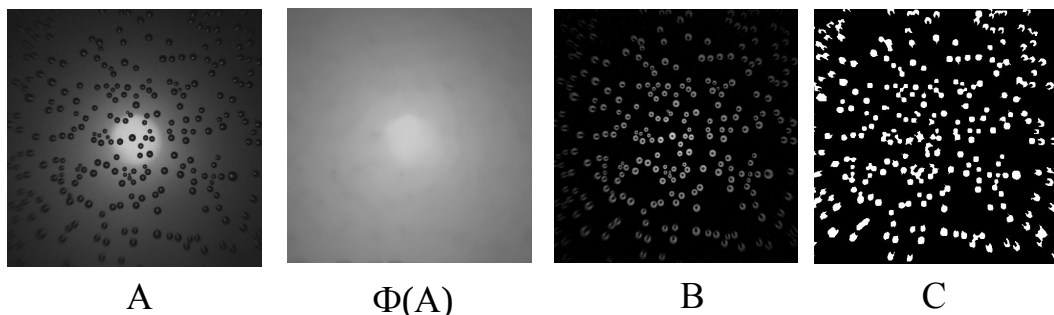
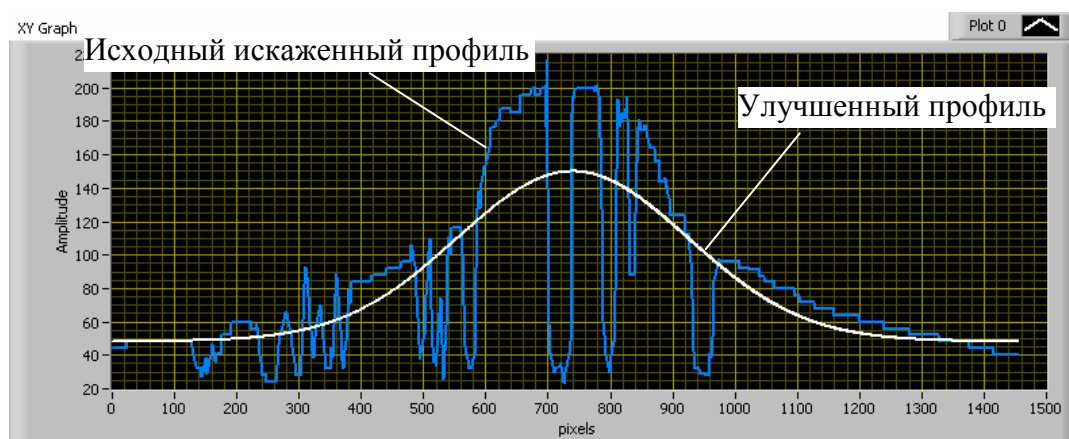


Рисунок 5 – Последовательные этапы обработки изображения

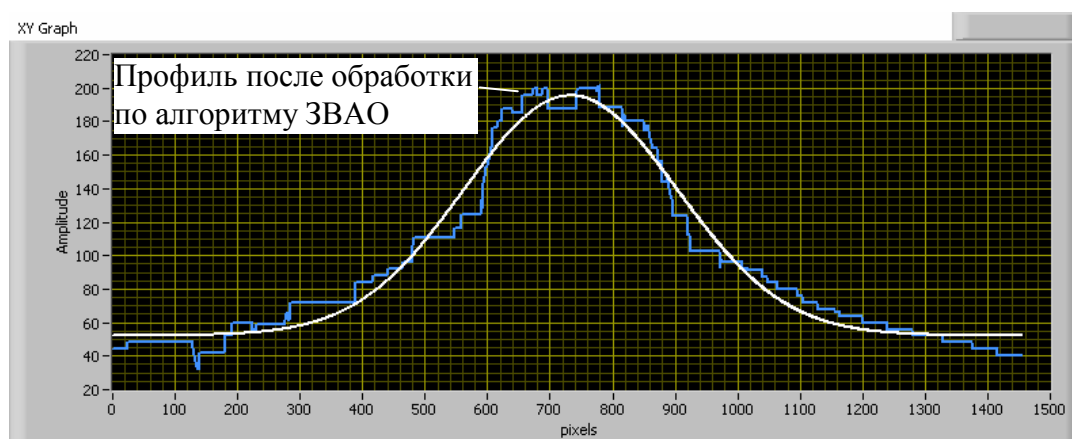
Для расчетов мутности предложено использовать профили яркости пикселей, построенные по средней горизонтальной линии кадра (рис. 6).

Отмечено, что в случае сильного искажения изображения пятнами отложений операции улучшения профиля (такие, как низкочастотная фильтрация или аппроксимация гауссовской кривой) приводят к значительным отклонениям от реального распределения интенсивности рассеянного света на поверхности окна фотоприемника (рис. 6,а). Поэтому предложена методика (названная методикой ЗВАО - замены вырезаемых аномальных областей) минимизации влияния искаженных участков. Ее суть заключается в замене искаженных участков профиля горизонтальными отрезками, соответствующими средним зна-

чениям ординат границ участков. Преимущество такого алгоритма проиллюстрировано на рис. 6,б.



а



б

Рисунок 6 – Применение операции улучшения к искаженному профилю (а) и к профилю, предварительно обработанному по алгоритму ЗВАО (б)

Предложена также методика минимизации влияния искаженных участков изображения, альтернативная вышеописанной, которая рекомендуется для случаев, когда требуется повышенное быстродействие мутномера. Эта методика (ИАО – исключения аномальных областей) ориентирована на работу не с профилем яркости, а с двумерным изображением. Ее суть состоит в вычислении средних яркостей для центральной зоны кадра и для множества периферийных точек, равноудаленных от центра на расстояние Δr , причем точки, попадающие в зоны, искаженные пятнами отложений, просто исключаются из рассмотрения.

Экспериментальная оценка основной приведенной погрешности фотоматричного мутномера в диапазоне 0..1000 ЕМФ не превысила 4 %. Сравнение алгоритмов ЗВАО и ИАО показало, что при значительных загрязнениях (относительная площадь загрязнений $> 50\%$) алгоритм ЗВАО дает заметно меньшую дополнительную погрешность.

Предложен алгоритм принятия решения о режиме очистки окна фотоприемника на основе анализа изображений и селекции пятен двух классов – легкоустраняемых газовых пузырьков и трудноустраняемых пятен.

Рассмотрены варианты практической реализации фотоматричного мутномера на базе серийных фото/видеокамер и одноплатных компьютеров. Предложена и описана методика градуировки фотометрического мутномера с использованием кусочно-линейной аппроксимации зависимости $\tau=f(R)$.

В четвёртой главе рассмотрены вопросы разработок автоматических устройств очистки окон фотоприемников мутномеров.

Предложена система очистки измерительных камер мутномеров на основе комбинации химического и механического воздействий на отложения (последнее реализуется с помощью ультразвука), в которой для повышения эффективности на время цикла очистки создается изолированный малый объем вокруг очищаемого участка.

Рассмотрено несколько способов изоляции очищаемых участков измерительной камеры и несколько вариантов практических конструкций.

Предложен моющий раствор, представляющий собой поверхностноактивное вещество в растворителе на основе пероксида водорода, обладающий более высокой эффективностью по сравнению с традиционными средствами. Экспериментально определена аналитическая зависимость длительности цикла очистки при применении данного раствора от относительной площади отложений (для асфальтосмолистых отложений).

Исследована зависимость относительной длительности цикла очистки $t_{\text{отн.оч.}}$ от предельной относительной площади отложений $S_{\text{кр.}}$, при которой включается устройство очистки (рис.7).

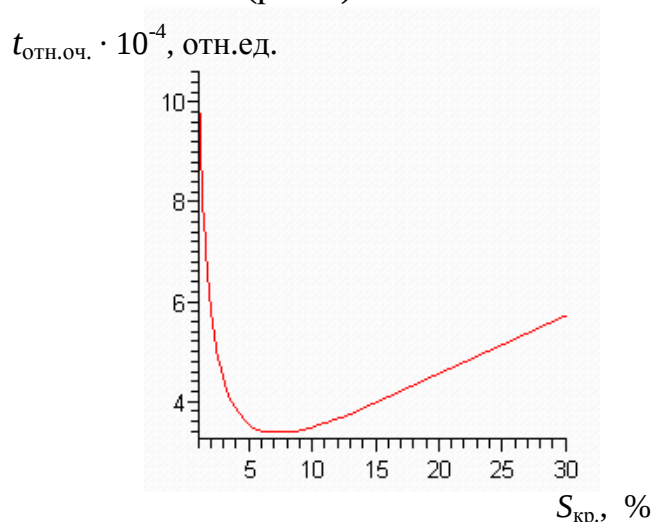


Рисунок 7 – Зависимость относительной длительности цикла очистки $t_{\text{отн.оч.}}$ от заданной предельной площади отложений $S_{\text{кр.}}$.

На графике зависимости виден минимум при $S_{\text{кр.}} = 5..10\%$. Выявлено, что положение этого минимума не зависит от скорости роста отложений. Этот факт рекомендовано использовать для минимизации времени очистки.

Представлена конструкция адаптивного турбидиметра с переменной измерительной базой, сочетающего в себе преимущества логометрического принципа измерений и применения комбинированной системы очистки измеритель-

ных камер (Патент РФ на изобретение № 2370754).

Даны рекомендации по инженерному проектированию автоматических устройств очистки датчиков полевых фотометров.

В заключении подведены итоги исследований.

В приложениях приведены тексты отдельных программ, а также документы, подтверждающие внедрение результатов работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель для оценки относительной погрешности определения мутности турбидиметром с переменной измерительной базой, учитывающая влияние температуры; проведение вычислительных экспериментов показало, что целесообразно адаптировать под текущие значения мутности τ значения максимальной базы L_1 : для достижения 1%-уровня погрешности в прозрачных средах ($\tau \approx 5$ ЕМФ и менее) база L_1 должна составлять не менее 70 мм, а в достаточно плотных средах ($\tau \approx 400$ ЕМФ) L_1 должна быть 20-40 мм. Анализ влияния температуры показал, что если L_1 находится в оптимальной зоне значений, соответствующей текущему значению τ , то температура не влияет существенно на относительную погрешность измерения τ .

Разработан адаптивный алгоритм для турбидиметра с переменной измерительной базой, позволяющий инвариантно измерять мутность в широком диапазоне и вычислять степень загрязнения окна фотоприемника. Техническое решение защищено патентом на ПМ № 78948.

2. Предложена новая схема построения мутномеров, основанная на применении фотоприемных матриц вместо традиционных одиночных фотоприемников, что позволяет :

- реализовывать логометрический принцип для инвариантных измерений мутности без применения подвижных механических частей;
- производить адаптивную подстройку рабочих параметров мутномера под текущее значение мутности;
- производить анализ пятен отложений на окне фотоприемника, нейтрализовать их влияние и вычислять степень загрязнения окна.

3. Разработана математическая модель для турбидиметра на базе фотоприемной матрицы, позволяющая оценивать распределение интенсивности света по поверхности окна фотоприемника. Предложен алгоритм определения мутности как функции от R – отношения яркостей центральных и периферийных точек на поверхности окна. Вычислительные эксперименты показали, что при расстоянии между окнами излучателя и фотоприемника 50 мм целесообразно с точки зрения минимизации погрешности определения мутности расстояние Δr от центра пучка до периферийной точки выбирать равным 10-12 мм для большей части диапазона 0..1000 ЕМФ.

4. Предложены два алгоритма обработки изображений, полученных с фотоприемной матрицы, для помехоустойчивого определения мутности и нейтра-

лизации влияния пятен отложений: ЗВАО (замены вырезаемых аномальных областей) и ИАО (исключения аномальных областей). Первый из них метрологически более надежен, но требует значительных вычислительных затрат, второй отличается повышенным быстродействием.

Экспериментальная оценка основной приведенной погрешности фотоматричного мутномера в диапазоне 0..1000 ЕМФ не превысила 4 %. Сравнение алгоритмов ЗВАО и ИАО показало, что при значительных загрязнениях (относительная площадь загрязнений $> 50 \%$) алгоритм ЗВАО дает заметно меньшую (в 2-4 раза) дополнительную погрешность.

Предложен также алгоритм принятия решения о режиме очистки окна фотоприемника на основе анализа изображений и селекции пятен двух классов – легкоустраняемых газовых пузырьков и трудноустраняемых пятен. Алгоритм реализован в среде LabView 8.5.

Выявлено, что межрегламентный период для двух исследуемых подклассов мутномеров по сравнению с классическими турбидиметрами с двумя фиксированными фотоприемниками может быть в 5-6 раз более длительным.

5. Предложена эффективная система очистки датчиков мутномеров на основе комбинированного (химического и механического) воздействия на отложения и перекрывания измерительной камеры с образованием малого изолированного объема, в котором производятся указанные воздействия на отложения. Техническое решение защищено патентом РФ на изобретение № 2370754.

Экспериментальное изучение возможностей предложенной системы очистки показало, что существуют значения критической относительной площади отложений $S_{кр.} = 5..10 \%$, используемые для выработки сигнала на включение очистки, при которых длительность цикла очистки минимальна. Эти оптимальные значения $S_{кр.}$ не зависят от скорости роста отложений.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Фетисов В.С., Цих Е.В., Мельничук О.В. Фотометрические измерительные преобразователи для полевых измерений концентрации жидких дисперсных сред // Вестник УГАТУ. – 2006. Т.7, № 2(15). С.171-178.
2. Фетисов В.С., Мельничук О.В. Применение фотоприемных матриц в полевых фотометрических приборах для контроля параметров состава жидких сред // Экологические системы и приборы. – 2009. - № 12. С.39-46.
3. Мельничук О.В., Фетисов В.С. Полевые фотометрические устройства с автоматической очисткой окон фотоприёмников и излучателей // Экологические системы и приборы. – 2010. - № 8. С.58-63.
4. Мельничук О.В., Фетисов В.С. Турбидиметры с переменной измерительной базой // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2010. - № 9. С.37-44.

Патенты:

5. Патент РФ на ПМ № 54676. Бесконтактный концентратомер для жидких дисперсных сред / Фетисов В.С., Цих Е.В., Мельничук О.В., Гайсин А.В.,

Новоженкин А.А. Оpubл. 2006, Бюл. №19.

6. Патент РФ на ПМ № 60220. Фотометрический концентратомер для жидких дисперсных сред / Фетисов В.С., Мельничук О.В Оpubл. 2007, Бюл. №1

7. Патент РФ на ПМ № 78948. Концентратомер с автоматической очисткой / Фетисов В.С., Мельничук О.В. Оpubл. 2008, Бюл. №34.

8. Патент РФ на изобретение № 2370754. Поточный турбидиметр с автоматической очисткой/ Фетисов В.С., Мельничук О.В. Оpubл. 2009, Бюл. №29.

В других изданиях:

9. Мельничук О.В. Адаптивная система измерения концентрации ЖДС // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. тр. Всерос. НТК. - М.: Радио и связь, 2006. С. 83-85.

10. Мельничук О.В. Концентратомер ЖДС на основе турбидиметра с переменной измерительной базой // Наука. Технологии. Инновации: Материалы Всерос. НТК. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. - Часть 2. С.20-21.

11. Мельничук О.В. Логометрический принцип построения поточных мутномеров // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии: Доклады VII международной НТК.- Владимир: Собор, 2006. - Книга II. С.50-52.

12. Мельничук О.В. Полевая система измерения концентрации жидких дисперсных систем // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: Сб. науч. тр. – Уфа: УГАТУ, 2006. С.269-272.

13. Мельничук О.В. Адаптивная система измерения концентрации жидких дисперсных сред // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы: Материалы XX Всерос. НТК. - Рязань: РГРУ, 2007. С.34-36.

14. Мельничук О.В., Фетисов В.С. Адаптивные турбидиметры для измерения концентрации жидких дисперсных сред // Альманах современной науки и образования. - № 1(8). - Тамбов: Грамота, 2008. С.204-207.

15. Мельничук О.В. Фотометрический поточный мутномер и методы повышения его метрологической надежности // Альманах современной науки и образования. - № 1(8). - Тамбов: Грамота, 2008. С.127-130.

16. Фетисов В.С., Мельничук О.В. Турбидиметры с переменной измерительной базой для поточных измерений в жидких средах // Материалы международной конференции по метрологии в экологии и пищевой промышленности. – 9-12 сентября 2008, Будапешт, Венгрия. С.14-16 (на англ. яз.).

17. Мельничук О.В. Турбидиметры с подвижным элементом // Актуальные проблемы науки и техники. Том 2: Сборник трудов Всерос. зимней школы-семинара асп. и мол. уч. – Уфа: Диалог, 2009. С.238-242.

18. Фетисов В.С., Мельничук О.В. Турбидиметры с переменной измерительной базой // Материалы международной конференции IEEE “EUROCON-2009”. – 18-23 мая 2009, Санкт-Петербург, Россия. С.1128-1133 (на англ. яз.).

19. Фетисов В.С., Мельничук О.В. Промышленные турбидиметры с автоматической очисткой измерительных камер// Фундаментальная и прикладная метрология: Материалы XIX Всемирного Конгресса ИМЕКО. – 6-11 сентября 2009, Лиссабон, Португалия. С.2203-2207 (на англ. яз.).

ДАТЧИКИ МУТНОСТИ ЖИДКИХ СРЕД
ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 23.05.2011. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 167.

ФГБОУВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12