

УДК 681.325.5

ЛАБОРАТОРНЫЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА АНАЛИЗА ЖИДКИХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

© 2010 Е.А. Аверин, Г.А. Морозов, О.Г. Морозов, А.Р. Насыбуллин,
Р.Р. Самигуллин

Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева

Поступила в редакцию 17.11.2010

В статье рассматриваются вопросы структурного построения подсистемы формирования изображений и освещения счетного объема в средствах определения состава жидких дисперсных сред. Проводится анализ погрешностей вносимых каналом видеоизмерений, оптического канала и оценка эффективности применения метода фильтрации для сложных монохромных и слабоконтрастных изображений.

Ключевые слова: жидкие дисперсные среды, сырая нефть, видеоизмерения, фильтрация изображений

Исследование состава различных жидких дисперсных систем (ЖДС) или сред, а именно: эмульсий, суспензий, коллоидных растворов – наиболее часто встречающаяся задача анализа, так как информация о концентрации и составе взвешенных частиц (дисперсной фазы – ДФ) часто бывает очень важна для управления многими технологическими процессами, экологическим мониторингом, научными исследованиями. На основе анализа проектирования, создания и применения концентратометров ЖДС наиболее наглядными и достоверными методами определения концентраций ЖДС являются те, которые основаны на разделении фаз посредством какого либо целенаправленного воздействия – физического или химического и последующего прямого или косвенного измерения компонентного состава ЖДС [1-3]. В качестве физического воздействия наиболее эффективным по сравнению с другими методами, является воздействие ЭМП микроволнового диапазона. С точки зрения вопросов автоматизации и регистрации полученных компонент наиболее предпочтительно использование метода видеоизмерений.

Точность видеометрических методов зависит от ряда следующих факторов: разрешающая способность видеокамеры, сложный химический состав смеси, физические особенности образования сил поверхностного натяжения и межфазного

взаимодействия жидкостей, эффект смачиваемости стенок стеклянного сосуда, особенности оптических характеристик компонентов смеси, однородности формирования освещенности счетного объема, точности обработки полутоновых изображений, эффективности и помехоустойчивости оптического канала датчиков, обработки слабоконтрастных изображений.

Цель данной работы: оценка отрицательных факторов влияющих на оптический канал видеоизмерений и регистраций компонент ЖДС и методы их устранения.

Основная часть. Анализ основных погрешностей метода видеоизмерений проведен для случаев: идеальной сепарации и «идеальной» освещенности пробы ЖДС; неидеальной сепарации и освещенности (наличие шумов). В качестве ЖДС использовалась проба сырой нефти (СН).

1. Идеальная сепарация. В данном случае определено два варианта считывания информации: по горизонтальным строкам (растр ПЗС-матрицы параллелен границам сепарации), по вертикальным строкам (растр ПЗС-матрицы перпендикулярен границам сепарации).

Случай анализа по горизонтальным строкам. С методологической точки зрения погрешность измерений, если граница сепарации проходит по середине строки разложения ПЗС-матрицы, будет определяться одной строкой $1/N_i$, где N_i – общее число строк растра, приходящееся на i -ую компоненту ($i=n$, если эта компонента нефть, $i=v$, если это вода). С аппаратной точки зрения погрешность определяется характеристиками освещенности контрольного резервуара и фотоприемника. В случае равномерной освещенности резервуара распределение погрешности сравнения случайной освещенности с заданной величиной будет носить равномерный характер.

Аверин Евгений Александрович, аспирант. E-mail: averinevg@mail.ru

Морозов Геннадий Александрович, доктор технических наук, директор Научно-исследовательского центра прикладной электродинамики. E-mail: nicpre@nicpre.kstui-kai.ru

Морозов Олег Геннадьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой телевидения и мультимедийных систем. E-mail: microoil@mail.ru

Насыбуллин Айдар Ревкатович, аспирант. E-mail: turphoon_masta@mail.ru

Самигуллин Рустем Разяпович, кандидат технических наук, доцент кафедры телевидения и мультимедийных систем. E-mail: nicpre@list.ru

Наиболее существенной с точки зрения измерения количественного соотношения компонент воды и нефти является методологическая погрешность. В случае малой обводненности погрешность существенно возрастает в соответствии с зависимостью $1/N_0$. Тогда определение доли воды необходимо производить по количеству строк растра, соответствующего количеству нефти N_n (по негативному видеосигналу), погрешность определения которой составит $1/N_n = 1 - 1/N_w$, причем $(N_n + N_w)/N = 1$. При заданной погрешности определения 1%, $N=200$ и занимаемой границе «вода-нефть» одной строки, результирующая погрешность составит 0,5%, если две строки – 1%.

Случай анализа по вертикальным строкам.
В этом случае задача определения погрешности измерения сводится к задаче аналогичной задаче определения погрешности квантования временного интервала в цифровых измерительных устройствах. Временной интервал t_x , соответствующей компоненте СН (нефти или воде) измеряется путем счета квантуемых импульсов стабильной частоты $f_n = 1/T_n$, прошедших в счетчик импульсов за время t_x , причем абсолютная погрешность измерения $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$. Первая составляющая Δt_1 , вызванная случайным расположением стартового импульса, всегда находится в пределах от 0 до T_n и имеет равномерный дифференциальный закон распределения. Вторая составляющая Δt_2 – погрешность, вызванная случайным расположением стоп-импульса, дифференциальный закон распределения которой также равномерный в пределах от $-T_n$ до 0. Результирующая предельная погрешность $\Delta t_m = \pm T_n$; относительная результирующая

предельная погрешность $\delta_m = \pm T_n/t_x = \pm 1/N_n$. При $f_n \geq 12$ МГц и $t=60$ мкс, относительная результирующая предельная погрешность $\delta_m = 0,2\%$ при увеличении f_n в 2 раза – $\delta_m = 0,1\%$.

2. Неидеальная сепарация. В случае неидеальной сепарации представленной на рис. 1а для уменьшения погрешности следует дополнительно проанализировать зону видеосигнала, соответствующую межфазному слою (А2-А3 рис. 1б). По результатам испытаний было определено, что протяженность межфазного слоя зависит от его обводненности. Чем больше нефти в межфазном слое, тем продолжительнее и полнее зона межфазного слоя. Чем меньше нефти в межфазном слое, тем зона межфазного слоя короче и круче (граница раздела компонент СН при 100% сепарации на рис. 2б показана пунктирной линией). В общем случае обводненность межфазного слоя, зарегистрированная как функция изменения интенсивности света по высоте межфазного слоя, определяется по закону Бугера.

В зависимости от случайного характера проявления факторов влияющих на характер границ раздела сред возможны две критические ситуации, это случаи вогнутой и выпуклой поверхности границы сепарации. В случае вогнутой поверхности учет неплоского характера границы может быть сведен к случаю определения обводненности межфазного слоя по закону Бугера. Для моделирования был выбран бензин с растворенной в нем нефтью, потому что указанная эмульсия более устойчива, чем эмульсия нефти с водой, и при этом оптические свойства бензина и воды близки.

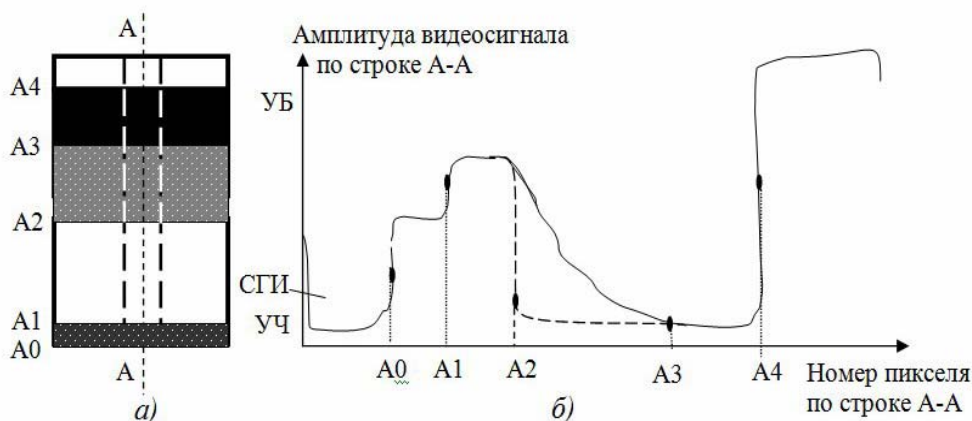


Рис. 1. а) границы компонент СН в случае не 100% сепарации, б) соответствующая ей форма видеосигнала

В случае выпуклой поверхности учет неплоского характера границы сепарации может быть произведен по матричному способу анализа пикселей и выполнения условий $U_{вс\ min} \leq U_{вс} \leq 0,5U_{вс\ max}$ и $0,5U_{вс\ max} \leq U_{вс} < U_{вс\ max}$, где $U_{вс}$ – амплитуда видеосигнала. При этом могут быть

использованы как одна, так и несколько телевизионных камер (объемный метод анализа).

3. Подсистема формирования видеозображения и освещения. В системы технического зрения (СТЗ) оснащенные телекамерой, работают по бинарному принципу, т.е. представляют все точки визируемой зоны контрольного

резервуара как светлые и темные. Такое представление налагает жесткие требования на условия освещения объекта контроля, поскольку изображение должно быть контрастным (как например для [4]). В данном случае необходимо особое внимание уделить адаптации систем освещения к различным формам контрольного резервуара и обеспечению высокой равномерности освещения пробы ЖДС. Использование в СТЗ первого поколения метода заднего света от точечных или распределенных источников приводило к созданию на изображении компонент СН, полученных после сепарации, значительных бликов и зон «ложной» освещенности, что было обусловлено прохождением света через сложную

оптическую систему (см. рис. 2а): передняя стенка сепарационного объема (линза) – проба СН (среда со сложными оптическими свойствами) – задняя стенка сепарационного объема (линза) – объектив видеокamеры. При этом значительная доля световой мощности источника терялась при прохождении собственно пробы. Расположение распределенного источника освещения видимого или ближнего ИК-диапазона на дне или вдоль полой части контрольного резервуара (коаксиальная форма) позволило практически в 2 раза уменьшить потери света и значительно, увеличить равномерность освещенности пробы, уменьшить мощность светового потока (рис. 2б).

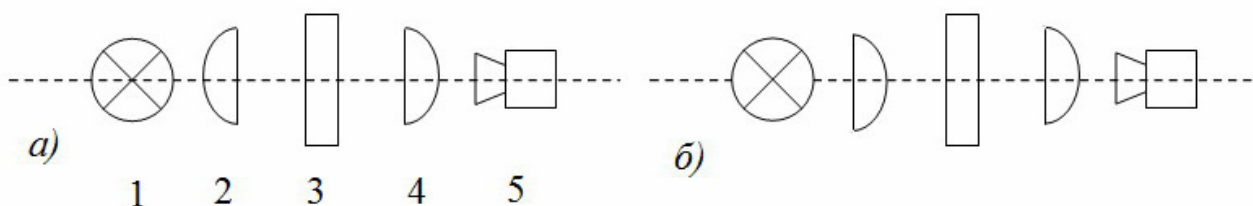


Рис. 2. Оптические схемы подсистемы формирования видеоизображения и освещенности:

а) – первое поколение (цилиндрическая форма контрольного резервуара); б) – второе поколение (коаксиальная форма контрольного резервуара) где: 1 – осветитель; 2, 4 – стенки контрольного резервуара; 3 – проба ЖДС; 5 – видеокamera

На рис. 3 изображено влияние погрешностей оптических каналов датчиков первого и второго поколений соответственно. Исследования проводились по следующей методике:

1. Бралась проба просепарированной сырой нефти (чистая нефть) в объеме 0,5 литра (0% обводненности).
2. Путем добавления по 3,3% воды и изъятия такого же количества чистой нефти, последовательно доводили обводненность пробы до 100%.
3. Одновременно с п.2 проводились измерения обводненности пробы (тестовый режим измерения датчика).

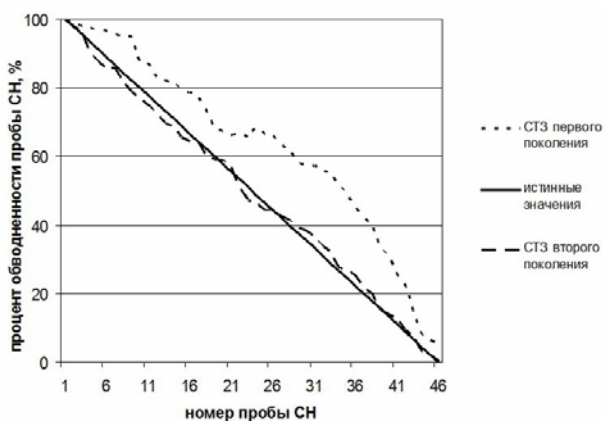


Рис. 3. Влияние погрешностей оптических каналов в СТЗ датчиков первого и второго поколений

Как видно из графиков, в СД первого поколения при мало обводненной пробе СН возникают большие погрешности при считывании процентного содержания обводненности пробы СН. Это, скорее всего, обусловлено сильной засветкой краев контрольного резервуара мощной подсветкой, если же уменьшить мощность подсветки, то при мало обводненной пробе уровня ее освещения не хватает для достоверной регистрации видеокamerой границ раздела.

Уменьшение указанных погрешностей в датчиках первого поколения реализовывалось, в основном, программным путем, что не всегда приводило к уменьшению влияния погрешностей оптического канала. Однако и в этом случае повышение точности обработки полутоновых изображений требует значительных вычислительных ресурсов, использование которых в структуре микропроцессорного блока управления СД, нецелесообразно без предварительной фильтрации от шумов.

4. Методы фильтрации. Для выбора наиболее подходящего метода фильтрации изображения было проведено математическое моделирование на персональном компьютере с применением базы данных изображений Corel. Для репрезентативности исследования были отобраны 100 изображений предметов с монотонной цветовой окраской. К изображениям был добавлен шум, ошибка фильтрации определена по выражению:

$$Err = \frac{1}{x * y} \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y \frac{|I_{s_{ij}} - I_{r_{ij}}|}{I_{s_{ij}}}$$

где: Err - ошибка фильтрации, x, y – горизонтальные и вертикальные размеры изображения, $I_{s_{ij}}, I_{r_{ij}}$ – исходная и полученная яркости пикселя ij .

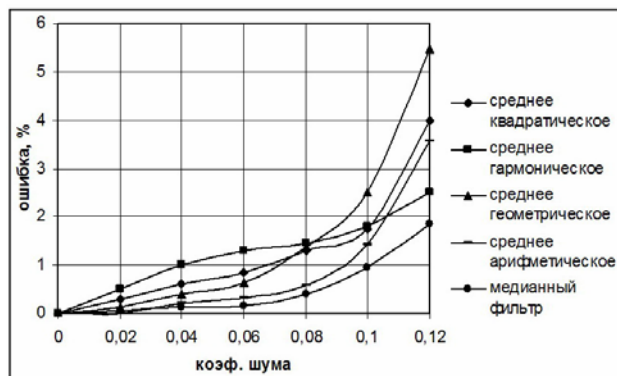


Рис. 4. Погрешность алгоритмов фильтрации изображений от коэффициента шума

Коэффициент шума варьировался в пределах $\pm 0,15$, а сам шум – 100% по отношению к исходной яркости пикселя. Процесс усреднения рассматриваемых фильтров происходит по времени, поэтому неподвижное изображение было конвертировано в непрерывный поток для имитации сигнала с видеокамеры. Далее полученный поток подвергается фильтрации с глубиной 2 сек (50 выборок при частоте кадров 25 Гц). Полученное изображение сравнивается с исходным и вычисляется ошибка фильтрации (рис. 4). Все исследуемые методы фильтрации дают значительную ошибку

при коэффициенте шума, превышающем значение 0,09.

Выводы: анализ результатов, представленных в статье, позволяет утверждать, что предложенные методы и устройства повышения однородности формирования освещенности счетного объема, а также методы предварительной обработки сложных монохромных и полутонных изображений, позволяют повысить точность определения количественных соотношений компонент ЖДС до 20% и увеличить оперативность обработки изображений на 25%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Самигуллин, Р.Р. СВЧ модули контроля обводненности углеводородсодержащих эмульсий / Р.Р. Самигуллин, Г.А. Морозов, О.Г. Морозов и др. // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2003): Матер. 13-й Междунар. Крымской микроволновой конф. Севастополь, Крым, Украина, 8 – 18 сентября 2003 г. Севастополь: Вебер, 2003. С. 217.
2. Морозов, Г.А. Оценка метрологических характеристик автоматизированных микроволновых модулей для анализа состава сырой нефти / Г.А. Морозов, О.Г. Морозов, Р.Р. Самигуллин, Н.Г. Воробьев // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2004. Т.7, № 1. С. 76-78.
3. С1 2284029 RU7 G01N 25/00. Устройство для анализа состава сырой нефти / Самигуллин Р.Р., Морозов О.Г., Морозов Г.А. и др., №200518248/28; Заявл. 23.03.2005 // Бюллетень ИПМ. 20.09.2006. № 26.
4. Морозов, О.Г. Телевизионная измерительная система отбраковки пульпоэкстракторов / О.Г. Морозов, Р.Р. Самигуллин // XII Туполевские чтения: Тез. докл. Межд. Молодеж. НК. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. Т. IV. С. 17-18.

LABORATORY OPTOELECTRONIC TOOLS FOR LIQUID DISPERSIBLE SYSTEMS ANALYSIS

© 2010 E.A. Averin, G.A. Morozov, O.G. Morozov, A.R. Nasybullin, R.R. Samigullin

Kazan State Technical University named after A.N. Tupolev

In paper questions of structural construction of subsystem of shaping images and illumination of countable volume in tools of definition the structure of liquid dispersible mediums are considered. The analysis of errors, entered by the channel of videomeasurements, the optical channel and estimation the efficiency of application of filtration method for complex monochrome and low contrast images is spent.

Key words: liquid dispersible mediums, crude oil, videomeasurements, filtration of images

Evgeniy Averin, Post-graduate Student. E-mail: averinevg@mail.ru
 Gennaliy Morozov, Doctor of Technical Sciences, Director of the Scientific Research Center of Applied Electrodynamics. E-mail: nicnpre@nicnpre.kstu-kai.ru
 Oleg Morozov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Television and Multimedia Systems Department. E-mail: microoil@mail.ru
 Aydar Nasybullin, Post-graduate Student. E-mail: typhoon_masta@mail.ru
 Rustem Samigullin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Television and Multimedia Systems Department. E-mail: nicnpre@list.ru