



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.82

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

**Синявский Ю.В.**

Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, Россия, (214013, г. Смоленск, Энергетический проезд, 1), e-mail: [sinyavskiyuv@yandex.ru](mailto:sinyavskiyuv@yandex.ru);

Представлены результаты экспериментальных исследований с использованием метода анализа формы свободной поверхности жидкости в аппарате с перемешивающим устройством с использованием оптических маркеров. Выявлены основные особенности проведения эксперимента и предложен способ оптимизации расположения оптических маркеров с целью повышения разрешения изображений для их дальнейшей обработки с использованием сверточных нейронных сетей.

Ключевые слова: перемешивание, обработка изображений.

## OPTIMIZATION OF THE LOCATION OF OPTICAL MARKERS TO IMPROVE THE ACCURACY OF DETERMINING THE PARAMETERS OF THE HYDROMECHANICAL MIXING UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

**Sinyavskiy Y.V.**

Smolensk Branch of the National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Smolensk, Russia (214013, Smolensk, Energeticheskyy proezd, 1), e-mail: [sinyavskiyuv@yandex.ru](mailto:sinyavskiyuv@yandex.ru);

The results of experimental studies using the method of analyzing the free surface of the liquid shape in an apparatus with a stirring device using optical markers are presented. The main features of the experiment are revealed and a method for optimizing the location of optical markers in order to increase the resolution of images for their further processing using convolutional neural networks is proposed.

Keywords: mixing, image processing.

Процессы перемешивания играют роль во многих технологических процессах, поэтому совершенствование самих перемешивающих устройств и их режимов работы продолжается. За последнее время разработан ряд перспективных типов перемешивающих устройств. В то же время до сих пор в основе технологического оборудования лежат решения, предложенные в конце 70-х годах XX века. Одной из основных причин отставания отечественной промышленности во внедрении новых типов перемешивающих устройств является

ограничения существующего методического обеспечения для расчета параметров процессов перемешивания.

До настоящего времени, инженерные расчеты процессов перемешивания осуществляются с использованием РД 26-01-90-85 «Механические устройства. Метод расчета». Особенностью данной методики является сочетание теоретически обоснованных подходов к описанию гидродинамики перемешивания с результатами экспериментальных исследований. Справедливость основных теоретических положений данной работы подтверждается использованием их в математических моделях, используемых в широко распространенной системе расчетов VisiMix [1].

Особенностью используемых в РД 26-01-90-85 расчетных соотношений является использование в качестве параметра коэффициента сопротивления перемешивающего устройства  $\zeta_m$ , величина которого с достаточной точностью может быть определена только экспериментально. В российских нормативных документах приводятся значения данной величины для ряда стандартных перемешивающих устройств. Однако, использование указанных величин для новых типов перемешивающих устройств невозможно, в силу существенных различий в форме и размерах. Поэтому расширение номенклатуры устройств, для которых определены коэффициенты сопротивления в сторону современных типов мешалок является актуальной задачей.

Известны несколько способов экспериментального определения значения коэффициента сопротивления перемешивающего устройства, из которых наиболее точным является прямой метод, основанный на измерении момента сил трения со стороны жидкости, действующих на корпус экспериментальной установки. Однако, данный метод может быть реализован лишь в экспериментальных установках с большим диаметром корпуса, так как в небольших системах, пригодных для размещения в лабораториях промышленных предприятий и научно-учебных центров, его величина мала для уверенного измерения без использования прецизионных систем.

Использование для определения коэффициента сопротивления методов моделирования с использованием методов вычислительной гидродинамики является весьма трудоемким процессом, требующим так же значительных вычислительных ресурсов в силу особенностей, связанных с вращательным движением жидкости в моделируемой системе, сопровождающимся изменением формы свободной поверхности.

Поэтому разработка альтернативной методики определения коэффициента сопротивления является весьма актуальной задачей.

### **1. Метод определения формы поверхности жидкости**

В работах [2] и [3] предложен способ определения коэффициента сопротивления на основе определения профиля центральной воронки, образующейся при вращении перемешивающего устройства. Для решения данной задачи используется явление преломления света, излучаемого оптическими маркерами, установленными на дне сосуда, на свободной поверхности жидкости. В зависимости от положения и локального угла наклона поверхности жидкости относительно вертикали, происходит смещение визуального положения оптическим маркером.

На рисунке 1 показано дно экспериментальной установки [4] при включенной подсветке. Белые области соответствуют оптическим маркерам, в качестве которых используются белые светодиоды. Так же на рисунке желтым цветом показано изображение маркеров при заполнении системы жидкостью на высоту, соответствующую диаметру установки.

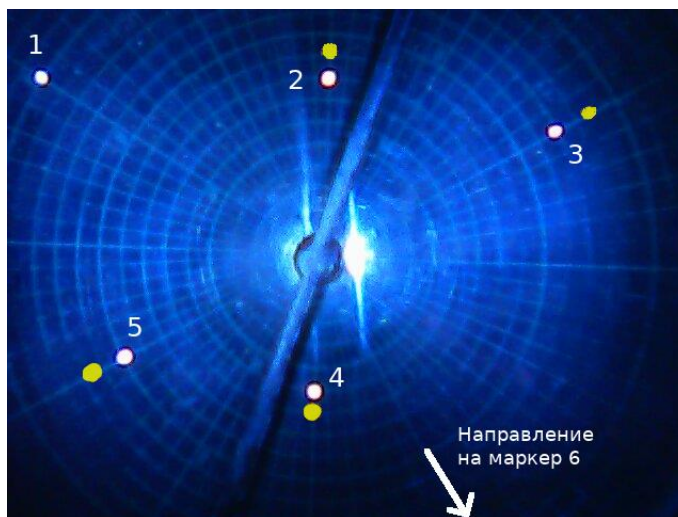


Рисунок 1 – Геометрия расположения оптических маркеров в экспериментальной установке

Изображения маркера 1 отсутствует из-за того, что преломленные лучи не попадают в объектив камеры (изображение находится за полем видимости). Так же, в системе присутствует маркер 6, изображение которого при отсутствии жидкости в системе не попадает в поле видимости.

На рисунке 2 показана оптическая картина, образованная наложением фотографий, относящихся к покоящейся жидкости (обозначения 1-5) и жидкости, в которой за счет вращения перемешивающего органа образована центральная воронка.

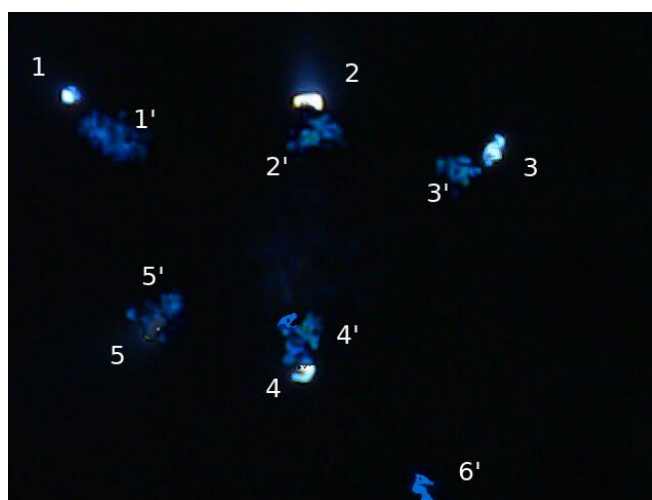


Рисунок 2 – Визуальное представление расположения оптических маркеров

Анализ данного изображения позволяет сделать ряд важных выводов.

*Во-первых*, при формировании искривленной поверхности жидкости происходит визуальное перемещение положения маркеров «к центру», что подтверждает правильность предложенного метода.

*Во-вторых*, анализ положения маркера при работающем перемешивающем устройстве затрудняется тем, что в силу развитой турбулентности, характерной для процесса перемешивания, поверхность воронки испытывает малые хаотические колебания, что приводит к тому, что изображение маркера хаотическим перемещается.

*В-третьих*, относительное изменение положения изображения маркера зависит от его фактического положения на дне экспериментальной установки.

Наибольший интерес представляет определение зависимости положения изображения маркеров от частоты вращения перемешивающего органа, так как анализ данной зависимости с использованием математической модели перемешивания изложенной в [4] позволяет решить поставленную задачу определения коэффициента сопротивления перемешивающего устройства.

## **2. Оптимизация положения маркеров**

Для повышения точности распознавания положения изображения маркера, метод был дополнен анализом видеоизображений. Для этого при проведении эксперимента производится видеофиксация изображения длительностью 10 секунд, которое далее кадрировалось на 20 кадров. Полученные кадры сводились с выделением наиболее светлых областей, что позволяло существенно повысить точность локализации положения маркера. Тем не менее, изображение маркера по-прежнему локализуется внутри некоторой области, при этом размер и форма данной области зависит от положения маркера в системе координат дна сосуда.

На рисунке 3 показаны положения областей изображения оптических маркеров при различных частотах вращения перемешивающего устройства. В данном эксперименте уровень жидкости был выше, чем в эксперименте, результаты которого представлены на рисунке 2, что вызвано необходимостью достижения больших значений числа Рейнольдса.

При этом для наглядности выполнена инверсия цвета с последующим преобразованием в градации серого, в результате чего оптические маркеры изображаются цветом от серого до черного цветом, а черный фон дна аппарата – белым. Более светлый цвет маркера соответствует меньшей освещенности, более темный – большей. Так же для наглядности на изображения нанесены пунктиром окружности, соответствующие некоторым радиусам.

Изображения маркера 4" частично накладывается на изображение 4', поэтому граница области локализации показана пунктиром. Изображение маркера 3 попадет в область видимости видеокамеры частично, изображение маркера 6 при наименьшей частоте вращения перемешивающего устройства не попадает в область видимости камеры.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. Изменение положения изображений маркеров от частоты значимо, и может быть использовано для построения математических моделей предназначенных для определения формы поверхности свободной поверхности при работе перемешивающего устройства.

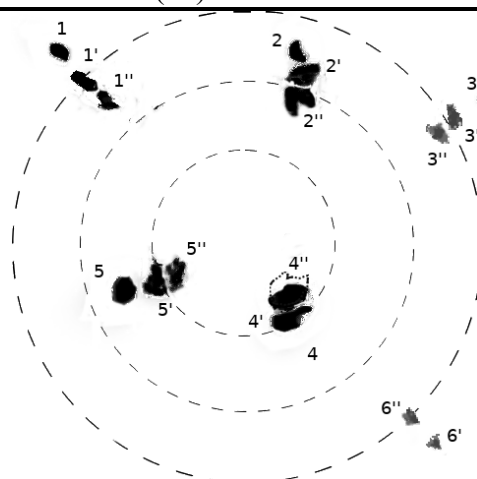


Рисунок 3 – Изменение положения области локализации изображения маркеров в зависимости от частоты вращения

2. Для наиболее близких к центру дна маркеров характерна существенно большая яркость изображения, что вызвано меньшей толщиной слоя жидкости между камерой и источником света.

3. Область локализации для маркеров, расположенных дальше от центра дна установки меньше, чем для маркеров, расположенных вблизи центра;

4. С увеличением расстояния от центра дна до маркера смещение изображения увеличивается.

5. Области локализации для наиболее близкого к центру дна маркера перекрываются, что делает невозможным определение зависимости координаты маркера в от частоты.

6. Интерес представляет анализ изображения маркеров 3 и 6, для которых характерно появление в области видимости камеры при определенных частотах вращения. Как показано в работе [6], для такого случая математическое описание задачи существенно упрощается.

Таким образом, оптимальная конфигурация оптических маркеров должна обладать следующими свойствами:

- расстояние от центра до ближайшего маркера должно быть не менее половины диаметра области видимости камеры;
- яркость маркеров должна дифференцироваться в зависимости от их положения относительно центра дна аппарата. если принять за эталонную яркость маркера 1, то яркость маркеров 2, 4, 5 должна быть меньше приблизительно в два раза, а яркость маркеров 3 и 6 приблизительно в два раза выше.

В этом случае области локализации изображения маркеров расположенных ближе к центру дна экспериментальной установки уменьшатся в размерах, а для удаленных маркеров увеличатся, что повысит точность определения положения изображений маркеров и повысит эффективность дальнейшего использования сверточной нейронной сети для идентификации профиля свободной поверхности жидкости.

В работе на основе экспериментальных данных подтверждена работоспособность методики определения формы поверхности жидкости при вращении перемешивающего

устройства, а также выявлены основные особенности оптических изображений, используемых для интеллектуального анализа.

Выявлено, что наличие турбулентности, приводящей к малым хаотическим колебаниям поверхности жидкости, препятствует однозначному определению местоположения изображения оптического маркера, что снижает эффективность применения методов, основанных на сверточных нейро-нечетких сетях для определения формы свободной поверхности.

На основании анализа результатов экспериментов сделаны выводы о способах оптимизации расположения оптических маркеров, направленной на повышение точности локализации их изображений при регистрации с помощью видеосъемки.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-07-00928.*

### **Список литературы**

1. Review of Some Mathematical Models Used in VisiMix. Jerusalem, VisiMix Ltd., 2015, 36 p. URL: <http://visimix.com/wp-content/uploads/2015/11/Review-of-the-Main-Mathematical-Models.pdf> (accessed 02.12. 2019).
2. Синявский Ю.В., Борисов В.В. Интеллектуальный анализ гидромеханических процессов перемешивания // Материалы XIX Международной научной конференции «Системы компьютерной математики и их приложения». – Смоленск, Изд-во СмолГУ, 18-20 мая 2018 г. С. 221-224.
3. Борисов В.В., Синявский Ю.В., Гаранин О.И., Коршунова К.П. Сверточная нейро-нечеткая сеть для исследования гидромеханических процессов в условиях неопределенности // Тезисы докладов XVI Всероссийской научной конференции «Нейрокомпьютеры и их применение». – Москва: Изд-во МГППУ, 13 марта 2018 г. С. 140-141.
4. Кондратьев Д.Г., Коршунова К.П. Экспериментальное изучение поверхности жидкости в аппарате с перемешивающим устройством на основе оптического метода // Сб. трудов XVI Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика». Сборник трудов в 3-х томах Том 2, с. 265-268
5. Синявский Ю.В. Усовершенствованный метод расчета мощности перемешивающего устройства // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств» № 4, 2018, режим доступа <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/18294.pdf>.
6. Синявский Ю.В. Совершенствование метода оценки коэффициента сопротивления перемешивающего устройства на основе анализа видеоизображений. // Сб. трудов IX Межд. науч.-техн. конф. «Энергетика, информатика, инновации». Сборник трудов в 2-х томах Том 2, 2019, с. 42-45

### References

1. Review of Some Mathematical Models Used in VisiMix. Jerusalem, VisiMix Ltd., 2015, 36 p. URL: <http://visimix.com/wp-content/uploads/2015/11/Review-of-the-Main-Mathematical-Models.pdf> (accessed 02.12. 2019).
  2. Sinyavskiy Y.V., Borisov V.V. Intellectual analysis of hydro-mechanical processes of mixing // Proceedings of XIX International scientific conference «Computer mathematics systems and their applications». – Smolensk, SmolGU, 2018. pp. 221-224. (In Russian)
  3. Borisov V.V., Sinyavskiy Y.V., Garanin O.I., Korshunova K.P. Convolutional neuro-fuzzy network for hydromechanical processes under uncertainty study // Proceedings of XVI Russian scientific conference «Neurocomputers and their application». – Moscow: MGPPU, 2018. pp. 140-141. (In Russian)
  4. Kondratev D. G., Korshunova K.P. Experimental study of the liquid surface in an apparatus with a stirring device based on the optical method // Proceedings of XVI International science- tech. conf. «Information technologies, energy and the economy», 2019, pp. 265-268 (In Russian)
  5. Sinyavskiy Y.V. Improved method for calculating the power of the mixing device // Scientific journal of NIU ITMO. Series «processes and devices of food production». № 4, 2018, URL: <http://processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/18294.pdf> (In Russian)
  6. Sinyavskiy Y.V. Improvement of the method for estimating the resistance coefficient of the mixing device based on the analysis of video images // Proceedings of XVI International science- tech. conf. «Information technologies, energy and the economy», 2019, pp. 42-45 (In Russian)
-