

Приведенные выше рекомендации не являются исчерпывающими и могут корректироваться под местные условия по причине возможных отличий в технологических процессах, функциональных особенностей и ограничений технологического и электрического оборудования. Применение каждого из них необходимо подтверждать соответствующими расчетами.

Литература

1. Гуревич Ю. Е., Илюшин П. В. Особенности расчетов режимов в энергорайонах с распределенной генерацией. – 2018.

СИСТЕМА БЕСКОНТАКТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Белоногов М.В., Кизириди В.Г., Зайцев А.С.

Научный руководитель н.с. Р.И. Егоров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Перемешивание технологических жидкостей, равно как и различных лабораторных проб, является актуальной задачей при работе добывающей промышленности. За многие десятилетия развития технологий были предложены различные методики перемешивания жидких сред [2], базирующиеся, в первую очередь, на их механическом перемешивании [3]. Однако, зачастую такой подход является трудным к реализации в силу конструктивных причин или при работе с агрессивными средами, непосредственное взаимодействие с которыми грозит повышенным износом оборудования. В то же время, применение различных канальных перемешивателей, которые являются популярной альтернативой механическим мешалкам, не удобно в случае, когда объем примеси значительно меньше объема базового компонента. Разработка бесконтактных методов массопереноса в стационарном объеме, которые не требуют непосредственного контакта с жидкостью, позволяет решить задачи перемешивания в таких случаях [5].

В представляемом исследовании рассмотрены особенности процесса перемешивания жидкости в плоском слое за счет специальным образом организованных конвективных течений, а также принцип автоматического управления процессом с помощью перемещения центра локального нагрева по дну емкости.

Для исследования особенностей процесса перемешивания жидкости за счет конвекции при локальном нагреве [4,5] был сконструирован стенд, схема которого представлена на Рис.1. Дно емкости с жидкостью (1) локально нагревается либо за счет потока светового излучения, либо за счет контактного нагревателя (2). Возникающий резкий максимум температуры инициирует конвекцию в жидкости, которая позволяет распространить внесенную примесь по всему объему. Для контроля равномерности перемешивания удобно использовать видеокамеру с внешней подсветкой, хотя в промышленном исполнении можно обойтись простейшими фотоэлементами, установленными над зоной подачи примеси и по кольцу, на расстоянии 0,75 радиуса емкости от ее центра.

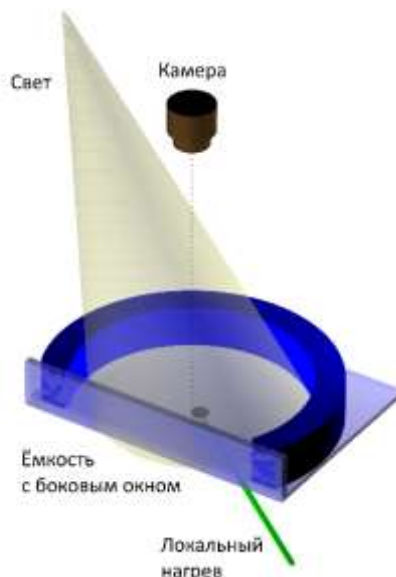


Рис. 1. Схема экспериментального стенда для исследования конвекционного перемешивания жидкости

Для проведения экспериментального исследования использовались подкрашенные водные смеси. На поверхность цилиндрического слоя жидкости ($h \sim 0.2 \div 0.5 R$) вносилась окрашенная примесь в количестве $1 \div 5 \%$ от объема слоя. При включении локального нагрева, возникал резкий максимум температуры в области нагрева ($T \sim 36^\circ\text{C}$) на фоне равновесной температуры слоя ($T \sim 20 \div 25^\circ\text{C}$). В результате, в слое формировалось доминирующее

течение Марангони ($Ma \sim 1000 \div 50000$), причем, с ростом толщины слоя растет вклад течения Рэлея ($Ra \sim 100 \div 5000$), которое обеспечивало перемешивание жидкости вдоль вертикальной оси слоя.

Таким образом, варьируя толщину слоя, мощность нагрева и местоположение центра нагрева на дне емкости, можно управлять процессом перемешивания, добиваясь достаточно равномерного распределения примеси по рабочему объему.

В ходе эксперимента было показано, что в тонком слое жидкости могут реализовываться режимы быстрого распространения примеси в приповерхностном слое, когда порция примеси захватывается одним из макроскопических вихрей Марангони. При этом, распространение примеси по глубине остается незначительным.

С ростом толщины слоя свыше $0,3 R$, усиление конвекции Рэлея приводит к ускорению вертикального перемешивания и более равномерному распространению примеси по объему. Управляя длительностью процесса в данном режиме, можно регулировать однородность получаемой смеси.

В толстом слое жидкости ($h > 0,4 R$) конвективное течение становится хаотичным, что несколько повышает эффективность массопереноса по всему объему, но существенно увеличивает длительность процесса.

В результате, оптимальными условиями (рис. 2) для перемешивания являются геометрия емкости, когда ($h \sim 0,3 \div 0,35 R$), а интенсивность нагрева порядка $0,25 \div 0,5 \text{ кВт/см}^2$. В данном случае на поверхности слоя жидкости формируется пара макроскопических вихрей Марангони, взаимодействующих с термо-гравитационным течением, соответствующим числу Рэлея $Ra \sim 1000 \div 3000$. Поддержание такого режима в течение длительного времени приводит к медленному росту температуры жидкости, однако за время, необходимое для получения однородной смеси в более 80 % объема емкости, средняя температура растет не более, чем на 10°C .

Для исключения случаев, когда в силу флуктуаций температуры или ряда других факторов самопроизвольно реализуется захват большей части примеси одним вихрем Марангони, предлагается использовать управление положением центра нагрева согласно показаниям оптических датчиков, контролирующих уровень результирующей окраски жидкости. Это может быть реализовано за счет смещения светового пучка при оптическом нагреве или автоматическим переключением на другой локальный нагреватель, установленный под днищем емкости.

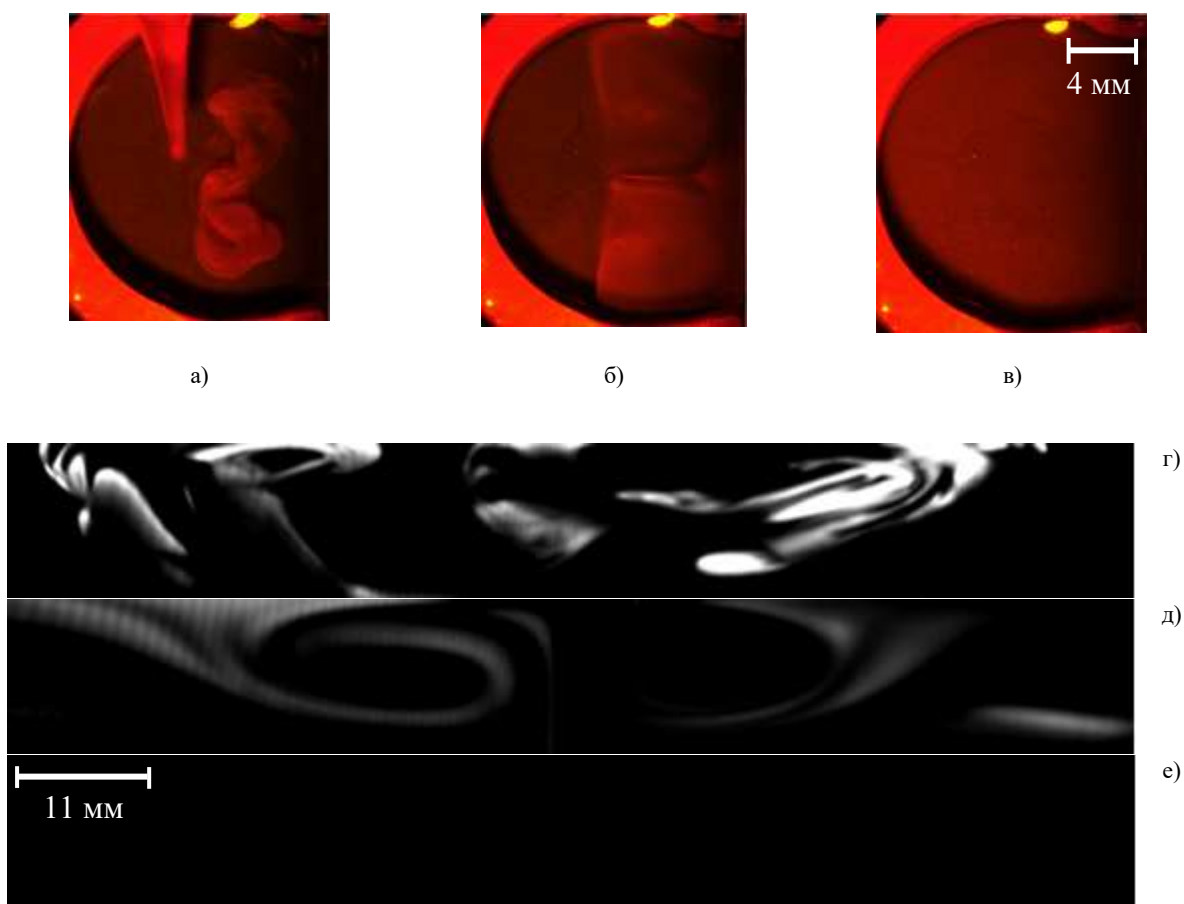


Рис. 2. Вид слоя сверху (а-в) и соответствующий вид справа, в диаметральной сечении (г-е). Яркие пятна показывают зоны с повышенной концентрацией примеси. Конус на (а) – сопло дозатора. Виды (а-в и г-е) соответствуют моментам времени 10 сек, 60 сек и 91 минута после введения примеси

Предложенный подход позволяет реализовать бесконтактное перемешивание различных жидкостей, подбирая параметры нагрева и геометрию емкости так, чтоб достичь указанных диапазонов конвекционных критериев

подобия. Автоматическая система управления нагревом, перемещающая зону локального нагрева по сечению дна емкости, может быть реализована на базе доступных микроконтроллеров общего назначения.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 23-73-01200.

Литература

1. Afshar Ghotli R. et al. Liquid-liquid mixing in stirred vessels: a review // Chemical Engineering Communications. – 2013. – Т. 200. – № 5. – С. 595-627.
2. Cai G. et al. A review on micromixers // Micromachines. – 2017. – Т. 8. – № 9. – С. 274.
3. Lee C. Y. et al. Microfluidic mixing: a review // International journal of molecular sciences. – 2011. – Т. 12. – № 5. – С. 3263-3287.
4. Misyura S. Y. et al. Evaporation and heat exchange of a thin liquid layer under various heating methods: Advantages of local heating over uniform heating of the wall // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2023. – Т. 149. – С. 107138.
5. Misyura S. Y. et al. Forming the convective flows and a cluster of particles under spot heating // Nanoscale and Microscale Thermophysical Engineering. – 2021. – Т. 25. – № 1. – С. 46-63.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВИХРЕВЫМ СЖИГАНИЕМ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ПРОМЫШЛЕННОМ ГОРЕЛОЧНОМ УСТРОЙСТВЕ

Верходанов Д.А., Ашихмин А.Е.

Научный руководитель доцент М.В. Пискунов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В современном мире стремление к экологически чистым и устойчивым источникам энергии становится все более насущной потребностью. В этом контексте биодизельное топливо занимает особое место, представляя собой перспективный альтернативный источник энергии, который имеет потенциал уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Множество исследований и научных работ посвящено изучению процессов сжигания биодизельного топлива и его влияния на окружающую среду [4, 2]. Однако эффективное сжигание биодизеля напрямую зависит от целого ряда факторов, среди которых ключевыми являются давление при подаче топлива и отношение воздуха к топливу в дымовых газах [1]. В работе [3] авторы утверждают, что концентрация кислорода в камере сгорания влияет на полноту сгорания и образование сажи. Поэтому контроль параметров топливовоздушной смеси в камере сгорания играет важную роль в снижении вредных выбросов при сжигании топлива. Автоматизированные системы управления как раз решают проблему постоянного поддержания расхода воздуха и давления в системе, что делает процесс сжигания топлив эффективным и экологичным.

Целью данной работы является проектирование автоматизированной системы управления вихревым сжиганием биодизельного топлива на базе горелочного устройства, которая обеспечит оптимальное горение топлива с минимальным воздействием на окружающую среду. Данный стенд ориентирован на малую энергетику и является частью цикла проверки стабильности сжигания биодизельного топлива. Тестирование топлива на стенде позволяет определить его качество и соответствие стандартам, что помогает снизить расходы на обслуживание, увеличить срок службы оборудования и обеспечить стабильную и надежную работу системы.

Автоматизированная система управления проектируется на базе лабораторного стенда по сжиганию биодизельного топлива, который состоит из бака с топливом, газового баллона, горелки, камеры сгорания, теплообменника, бака с теплоносителем, газоанализатора и измерительных приборов (рис.1). Бак с топливом представляет металлический стакан. В верхней части стакана установлены следующие составляющие: манометр (2), датчик температуры (3), узел загрузки топлива, патрубок выпуска газа в атмосферу с регулирующим клапаном и патрубок заполнения резервуара газом с регулирующим клапаном. Заполнение резервуара газом производится с помощью газового баллона, заправленного азотом, и редуктора. Подача топлива производится непосредственно через дизельную форсунку, над которой установлены электроды воспламенения для формирования искры. Для контроля подачи топлива в камеру сгорания используются электрический клапан. Перед камерой сгорания установлен завихритель потока, предназначенный для дополнительного смешивания топлива с потоком воздуха. В камере сгорания расположены датчик температуры (5) и датчик пламени (4). После камеры сгорания установлен датчик концентрации кислорода (6), показывающий соотношение воздух/топливо. Регулирование данного соотношения осуществляется с помощью частотного преобразователя центробежного вентилятора. Для снижения температуры дымовых газов используется водяной теплообменник газового котла Navien ACE Coaxil, Deluxe с мощностью 13-24 кВт (материал изготовления – нержавеющая сталь, вид конструкции – спиральный). Данный теплообменник охлаждает выхлопные газы путем теплопередачи между нагретой (выхлопные газы) и холодной (вода) средой. Рециркуляция воды по теплообменнику реализуется посредством циркуляционного насоса. В баке с теплоносителем с помощью датчиков осуществляется контроль температуры (7) и уровня (8). После охлаждения дымовые газы через патрубок выпускаются в атмосферу. Однако в случае, когда необходима работа системы рециркуляции дымовых газов открывается дроссель-клапан и включается внутриканальный вентилятор. Для определения компонентного состава газовой смеси использовался газоанализатор Тест – 1, предназначенный для измерения отдельных компонентов газовой смеси при длительном непрерывном измерении относительно высоких концентраций и зонд-шуп, установленный в кожух теплообменника.