

# **ОСПАНОВА ДИДАР АСЫЛКЫЗЫ**

## **РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА ДИНАМИКУ ТЕПЛО-МАССООБМЕНА**

### **АННОТАЦИЯ**

**диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)  
по образовательной программе  
8D05303 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»**

**Актуальность темы исследования.** Повышение энергоэффективности, рациональное использование энергетических ресурсов и оптимизация тепло-теплотехнических процессов являются приоритетными задачами современного промышленного и энергетического развития. Значительная доля процессов мировой энергетики связана с теплообменом, в связи с чем, повышение эффективности теплообменных аппаратов рассматривается как одно из ключевых направлений снижения энергетических затрат и минимизации экологической нагрузки на окружающую среду. Традиционные конструкционные решения теплообменных аппаратов имеют определённые технологические ограничения, что обуславливает необходимость поиска новых физических методов интенсификации процессов тепло- и массообмена. Особый интерес вызывает применение электрогидравлического эффекта для интенсификации различных теплотехнических процессов.

Известно, что высоковольтный электрический разряд в жидкой среде сопровождается образованием импульсных волн давления, кавитационных явлений и турбулентных потоков, способных существенно увеличивать интенсивность тепло- и массообмена. Указанные физические процессы способствуют разрушению твердых накипных отложений на теплообменных поверхностях, увеличению коэффициента теплоотдачи, снижению образования накипных отложений, а также повышению надёжности и долговечности работы теплообменного оборудования. Несмотря на имеющиеся результаты исследования, влияние электрогидравлического эффекта на динамику тепло- и массообменных процессов остаётся недостаточно изученным как в теоретическом, так и в экспериментальном аспектах, особенно с точки зрения повышения энергетической эффективности теплообменных аппаратов. В условиях роста цен на энергоносители, ужесточения международных требований по сокращению вредных углеводородных выбросов и необходимости обеспечения устойчивости промышленных процессов разработка энергосберегающих технологий для повышения эффективности теплопередачи приобретает особую актуальность.

В связи с этим исследование динамики тепло- и массообмена при воздействии электрогидравлического эффекта с целью разработки новых

технологических решений для повышения эффективности теплообменников представляет значимый научный и практический интерес.

В рамках диссертационной работы разработана комплексная установка на основе электрогидроимпульсной технологии, направленной на повышение эффективности теплообменных аппаратов, снижение энергетических затрат и повышение безопасности теплотехнических процессов. Предложенная электро-гидроимпульсная технология может быть использована в энергетике, химической, нефтегазовой и металлургической промышленности, а также в системах коммунального теплоснабжения.

**Цель исследования.** Повышение эффективности теплоотдачи теплообменных аппаратов посредством применения оптимизированной энергосберегающей электрогидроимпульсной установки с многоступенчатой LC-системой регулирования.

**Задачи исследования.**

1 Анализ влияния электрогидроимпульсного воздействия на свойства и динамику течения жидкостного потока в трубах теплообменников и моделирование основных характеристик тепло- и массообмена при различных параметрах гетерогенности потока с учетом степени загрязнения внутренних поверхностей труб.

2 Экспериментальное изучение распределения амплитуды импульсного давления при распространении ударной волны в жидкостном потоке теплообменника с целью разработки комплексной технологии очистки внутренних поверхностей труб от твердых накипных отложений для повышения эффективности теплопередачи.

3 Исследование структуры и количественных характеристик элементного состава твердых накипных отложений на внутренних поверхностях теплообменных труб на основе рентгено-дифракционного анализа.

4 Разработка, создание и испытание экспериментальной лабораторной энергосберегающей электрогидроимпульсной установки с многоступенчатой LC-системой управления, позволяющей повысить энергоэффективность теплопередачи в теплообменниках.

**Объект исследования.** Процессы тепло-массообмена в гетерогенном жидкостном потоке при электро-гидро-импульсной очистке внутренних поверхностей теплообменных труб из цветных металлов от твердых накипных отложений.

**Методология исследования.**

Элементный состав и структура накипи, образующейся на внутренних поверхностях труб теплообменников, исследованы с помощью методов атомно-эмиссионной спектроскопии и атомно-абсорбционной спектроскопии. Анализ структуры твердых накипных отложений проводился методом порошковой рентгеновской дифракции с использованием дифрактометра Panalytical X'PERT PROMRD Extended. Распределение амплитуды импульсного давления в гетерогенном жидкостном потоке в теплообменных трубах измерялось с использованием пьезометрических датчиков давления с последующей обработкой сигналов цифровым

осциллографом РС-500. Моделирование закономерностей изменения теплообменных процессов при воздействии ударной волны выполнялось на основе метода группового учёта аргументов (МГУА). Техническая документация экспериментального лабораторного комплекса электрогидроимпульсной установки и создание технологического комплекса, обеспечивающего точную энергоэффективную регулировку величины импульсной энергии, подготовлена в соответствии с международными стандартными требованиями (МЕМСТ14.201-83, МЕМСТ14.205-83, МЕМСТ 21.623-23).

#### **Научная новизна исследования.**

1 Экспериментально установлено, что при увеличении степени гетерогенности от 8,56 % до 31,12 % скорость газожидкостного потока теплоносителя при импульсном воздействии возрастает: в диффузоре - до 0,43 м/с, в конфузоре - до 0,19 м/с. При увеличении концентрации газа от 12,3% до 18% наблюдается обратная зависимость, снижение скорости потока теплоносителя до 0,10 м/с в диффузоре и 0,05 м/с в конфузоре.

2 Впервые установлено, что увеличение степени гетерогенности снаправленного газожидкостного потока от 8,5 % до 34 % приводит к снижению амплитуды импульсного давления от 1,00 до 0,25–0,35.

3 Определено то, что при числах Рейнольдса в диапазоне  $Re=(5000\div 6000)$  в трубах с параметром сечения  $\alpha > 20^0$  коэффициент теплоотдачи газожидкостного потока увеличивается на 10–15 % по всему сечению трубы.

4 Установлено то, что образование оксида кальция в составе твердых накипных отложений обусловлено длительной непрерывной эксплуатацией оборудования теплообменников при температурах выше (60–70)°С, тогда как образование аргонитовых соединений связано с турбулентным режимом течения теплоносителя, способствующем интенсификации процессов теплообмена.

5 На основании рентгено-дифракционного анализа установлено, что структура твердых накипных отложений представляет собой гетерогенную многофазную систему, сформированную карбонатами кальция, магния и железа. Определено, что в составе накипи присутствуют 33 химических элемента, среди которых содержание Си составляет около 20 000 мг/кг (2%), а концентрация элементов Mn, Zn, P и В превышает 1000 мг/кг.

6 Впервые разработаны создан оптимизированный комплекс электрогидроимпульсной установки с многоступенчатой LC-системой регулирования, обеспечивающий эффективность 87–90% энергосберегающей и безопасной очистки теплообменных труб из цветных металлов с внутренним диаметром 5-100 мм и степенью загрязнения до 95 %.

7 Установлено, что применение многоступенчатой LC-системы регулирования позволяет снизить пульсации напряжения и повысить стабильность процесса зарядки, а добавление газовой смеси в объеме 5–8 % в рабочую жидкостную среду способствует повышению интенсивности очистки.

### **Научно-практическая значимость работы.**

Разработанная электрогидроимпульсная установка позволяет повысить эффективности теплообменных аппаратов в системах теплоэнергетики и промышленного теплоснабжения. Предложенная технология обеспечивает быструю очистку внутренних поверхностей теплообменных труб, изготовленных из цветных металлов, без нарушения их структурной целостности, что способствует существенному увеличению коэффициента теплоотдачи на 10-15%. Реализация данной технологии способствует повышению энергоэффективности теплообменного оборудования, снижению энергетических затрат, увеличению межремонтного периода эксплуатации оборудования и уменьшению вероятности аварийных остановок. Разработанный комплекс электрогидроимпульсной установки прошёл экспериментальные испытания на предприятии ТОО «AirLogistic», результаты исследования внедрены в образовательный процесс.

**Личный вклад автора.** Все основные результаты, представленные в диссертации, получены автором лично. Автором сформулированы цели и задачи исследования, выполнены экспериментальные исследования, проведены расчеты и анализ полученных результатов, сформулированы научные выводы и практические рекомендации.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, трёх разделов, заключения и приложений. Общий объём работы составляет 137 страницы, включает 67 рисунка, 10 таблиц и 99 источников литературы.