

ОТЗЫВ

на диссертационную работу **Оспановой Дидар Асылкызы** на тему «**Разработка энергоэффективной технологии повышения эффективности теплообменников на основе изучения влияния электрогидравлического эффекта на динамику тепло-массообмена**» (Жылу-масса алмасу динамикасына электргидравликалык эффектiнiң әсерiн зерттеу негiзiнде жылу алмастырғыштардың тиiмдiлiгiн арттыратын энергия үнемдi технологиясын әзiрлеу), представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе **8D05303 - Теплофизика и теоретическая теплотехника**

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения энергоэффективности теплообменного оборудования, являющегося ключевым компонентом промышленных предприятий и систем теплоэнергетики. Традиционные методы очистки имеют ограниченные возможности, а образование накипи на внутренних поверхностях трубок значительно снижает теплоотдачу и увеличивает расход топливных ресурсов. Существующие механические и химические способы очистки часто повреждают тонкостенные трубки из цветных металлов или недостаточно эффективны.

Разработка инновационной *электрогидроимпульсной технологии с применением газовых пузырьков* позволяет интенсифицировать тепломассообмен и обеспечить долговечную работу оборудования с минимальными механическими повреждениями. Это имеет решающее значение для экономии ресурсов и оптимизации теплотехнических процессов в современных экономических условиях.

Диссертационная работа Оспановой Дидар Асылкызы посвящена разработке и научному обоснованию энергоэффективной электрогидроимпульсной технологии, направленной на интенсификацию процессов теплопередачи и совершенствование методов очистки теплообменного оборудования от твердой накипи.

Научные результаты исследования заключаются в экспериментальном доказательстве влияния степени гетерогенности газожидкостного потока на гидродинамические параметры и амплитуду импульсного давления при электрогидравлическом воздействии.

- Обосновано, что добавление 5–8% концентрации газа повышает интенсивность очистки теплообменников на 10–20%.

- Разработана универсальная электрогидроимпульсная установка с многоступенчатой системой LC-регулирующего, обеспечивающая эффективность очистки до 98% без повреждения тонкостенных трубок.

Достоверность научных результатов, выводов и заключений диссертации Оспановой Дидар Асылкызы подтверждаются применением комплекса современных методов исследования и практическими испытаниями.

Обоснованность научных результатов обеспечивается:

- Экспериментальным доказательством влияния степени гетерогенности газожидкостного потока на гидродинамику: установлено, что при росте концентрации газа с 8,5% до 34% амплитуда импульсного давления снижается с 1 до 0,25–0,35.

- Математическим моделированием с использованием метода группового учета аргументов (Group Method of Data Handling, GMDH), подтвердившим рост коэффициента теплоотдачи (числа Нуссельта) на 10–15% в теплообменниках малого сечения.

- Глубоким физико-химическим анализом: структура и элементный состав накипи (33 образца) изучены с помощью сканирующей электронной микроскопии, атомно-абсорбционной спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии на системе XPERT-PRO.

- Технологической новизной: разработана и обоснована универсальная электрогидроимпульсная установка с многоступенчатой LC-системой регулирования, обеспечивающая очистку тонкостенных трубок с эффективностью 90–98%.

Достоверность результатов и выводов подтверждается следующими фактами:

- Основные положения работы доложены на 4 международных конференциях (включая Германию и Испанию) и опубликованы в 8 трудах, из которых часть статей входят в базу Scopus (1 статья - в журнале Eurasian Physical Technical Journal, 2023 г., процентиль 25%; 1 статья - в Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 2023 г., процентиль 43%; 1 статья - в Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023 г., процентиль 47%).

- На разработанное устройство получен патент РК на полезную модель №9019.

- Эффективность технологии (повышение интенсивности очистки на 10–20% при добавлении 5–8% газа) подтверждена актом успешных испытаний на базе ТОО «AirLogistic».

- Измерения проводились с применением сертифицированного оборудования: прецизионных датчиков и цифрового осциллографа PCS500 с обработкой данных в среде PCLab2000.

Сформулированные выводы логически вытекают из анализа экспериментальных данных и теоретических моделей, что свидетельствует о достаточной степени их надежности.

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в следующем:

- Впервые экспериментально доказано, что при увеличении степени гетерогенности газожидкостного потока с 8,56% до 31,12% скорость жидкости под импульсным воздействием возрастает до 0,43 м/с в диффузоре и до 0,19 м/с в конфузоре. Также установлено, что рост концентрации газа с 12,3% до 18% приводит к снижению скорости потока.

- Впервые выявлено, что при воздействии ударной волны увеличение степени гетерогенности потока с 8,5% до 34% приводит к снижению амплитуды импульсного давления с 1 до 0,25–0,35.

- С помощью математического моделирования (GMDH) установлено, что в теплообменниках малого сечения при числах Рейнольдса $Re=(5000-6000)$ коэффициент теплоотдачи (число Нуссельта) увеличивается на 10–15% по всему сечению трубы.

- Доказаны закономерности образования накипи: формирование оксида кальция связано с длительной работой оборудования при температурах выше 60–70°C, а появление аргонитовых соединений зависит от турбулентного режима потока.

- Физико-химическим путем установлено, что накипь является неоднородной многофазной системой, состоящей из 33 элементов, причем структура отложений в пиковых бойлерах (мягкая, губчатая) существенно отличается от структуры в конденсаторах турбоагрегатов (твердая, цементобразная).

- Впервые разработана универсальная электрогидроимпульсная установка с многоступенчатой LC-системой регулирования, обеспечивающая эффективную (90–98%) очистку тонкостенных трубок из цветных металлов (диаметром 5–100 мм) без их повреждения.

- Обосновано, что добавление в процесс очистки 5–8% концентрации газа позволяет повысить интенсивность удаления накипи на 10–20%.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке новых научных подходов к интенсификации теплообмена и создании эффективной технологии очистки оборудования.

Теоретическая значимость исследования:

- Экспериментально доказано влияние степени гетерогенности (концентрации газа) на гидродинамику и амплитуду импульсного давления в каналах переменного сечения.

- На основе метода группового учета аргументов (GMDH) разработаны модели, описывающие изменение числа Нуссельта в зависимости от параметров газожидкостного потока и частоты разрядов.

- Теоретически обоснованы и подтверждены условия формирования различных фаз накипи (кальцита и аргонита) в зависимости от температурного и турбулентного режимов.

- Доказано, что накипь является сложной многофазной системой, состоящей из 33 компонентов, что расширяет понимание процессов загрязнения теплообменников.

Практическая значимость исследования:

- Сконструирована электрогидроимпульсная установка с многоступенчатой LC-системой регулирования, защищенная патентом РК №9019.

- Доказано, что добавление 5–8% газа в рабочую среду повышает интенсивность удаления накипи на 10–20%, обеспечивая эффективность очистки до 90–98%.

- Технология позволяет очищать тонкостенные трубки из цветных металлов (диаметром 5–100 мм) без их механического повреждения, восстанавливая исходную геометрию потока.

- Экономический эффект: внедрение технологии позволяет снизить производственные расходы, продлить срок службы теплообменников и уменьшить вероятность аварийных остановок.

- Разработанный комплекс успешно прошел производственные испытания на базе ТОО «AirLogistic».

По диссертационной работе Оспановой Д.А. имеются следующие **замечания**:

1. В работе для интенсификации очистки предлагается добавлять в воду 5–8% концентрации воздуха. Однако в исследовании недостаточно полно освещен вопрос потенциального коррозионного воздействия или химического взаимодействия вводимого газа (кислорода в воздухе) с материалом трубок (медь, латунь) при высоких температурах и импульсных нагрузках (окисление меди). Также наличие воздуха в воде может снижать коэффициент теплоотдачи, так как воздух более устойчив к теплопередаче, чем вода. Например, плёнка воздуха толщиной всего 0,025 мм может оказывать такое же сопротивление теплопередаче, как медная стенка толщиной 400 мм.

2. Автор отмечает снижение производственных расходов и продление срока службы оборудования. Тем не менее в представленных разделах не приводится полный расчет стоимости жизненного цикла установки в сравнении с традиционными химическими методами (с учетом затрат на утилизацию реагентов и электроэнергию).

Соответствие содержания диссертации в рамках требований Правил присуждения степеней.

Диссертационная работа отличается высоким научным уровнем, логичностью структуры, последовательностью изложения материала и обоснованностью полученных результатов. Представленное исследование является завершённой самостоятельной научной работой, имеющей существенное значение для развития современной теплоэнергетики и теплотехнической науки.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что диссертация Оспановой Дидар Асылкызы на тему «Разработка энергоэффективной технологии повышения эффективности теплообменников на основе изучения влияния электрогидравлического эффекта на динамику тепло-массообмена», представленная для получения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D05303 - Теплофизика и теоретическая теплотехника», полностью соответствует установленным требованиям по содержанию и объёму. Таким образом, докторант Оспанова Дидар Асылкызы заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по данной образовательной программе.

PhD, ассоциированный профессор,

(учёная степень, ученое звание),

и.о. профессора кафедры «Теплоэнергетика»

НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева»

(должность, место работы)



(подпись, дата)

