

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук **Сидягина Андрея Ананьевича** на диссертационную работу **Столяровой Екатерины Юрьевны** «**Повышение тепловой эффективности охлаждения воды в пленочной градирне с комбинированными блоками оросителей**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника»**

Актуальность темы:

Диссертация Столяровой Е.Ю. «Повышение тепловой эффективности охлаждения воды в пленочной градирне с комбинированными блоками оросителей» посвящена решению задач интенсификации процессов теплообмена в пленочных градирнях. Целью диссертационного исследования является получение экспериментальных данных и разработка математической модели тепловой эффективности охлаждения воды в градирне при противоточном пленочном движении фаз с учетом неоднородностей профиля скорости воздуха в комбинированных насадках. Исследования в области модернизации блоков оросителей для оборудования, предназначенного для охлаждения производственных потоков, представляют теоретическое и практическое значение для многих отраслей промышленности и энергетики. Актуальными являются как теоретические исследования в данной области, так и разработка инженерных методов расчета градирен.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника» по следующим направлениям:

– процессы переноса массы, импульса и энергии при свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей и характеристик теплопередающих поверхностей, в одно- и многофазных системах и при фазовых превращениях;

– научные основы и методы интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты.

По формуле специальности: научная дисциплина, ориентированная на совершенствование аппаратного оформления технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения.

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследований. В диссертации Столяровой Е.Ю. представлены результаты, обладающие научной новизной и имеющие практическую значимость:

1. В результате экспериментальных исследований получены обобщенные выражения для расчета гидравлического сопротивления и объемного коэффициента массоотдачи регулярной трубчатой насадки с кольцевой дискретно-шероховатой поверхностью, а также таковой насадки в комбинации с хаотичной насадкой "Инжехим 2012", в интервале нагрузок $w_r = 0,8-2,6$ м/с и $q_{ж} = 8,8-19,4$ м³/(м² ч), которые могут использоваться при проектировании пленочных градирен.

2. Разработаны численная и упрощенная математические модели и алгоритмы расчета тепловой эффективности и высоты пленочной насадки в градирне с учетом неравномерного профиля скорости воздуха и обратного перемешивания теплоносителей. Разработанная упрощенная математическая модель позволяет рассчитать тепловую эффективность градирни при решении инженерных задач.

3. На основе полученных теоретических и практических результатов установлено, что поперечная неравномерность скоростного профиля воздуха может снижать тепловую эффективность градирни на 5-30 %, а продольная на 10-20 %.

4. Показано, что при замене типовой промышленной градирни СК-400 на группу мини-градирен может быть достигнуто снижение удельных затрат на охлаждение воды.

5. Разработана и запатентована конструкция мини градирни с повышенной гидравлической нагрузкой (до 40 м³/(м² ч) и скоростью воздуха до 2,8 м/с.

6. Зарегистрирована программа для расчета пленочной градирни на ЭВМ.

Обоснованность и достоверность полученных результатов диссертации обеспечена: современными средствами сбора и обработки экспериментальных данных на макете градирни; согласованием с исследованиями других авторов и результатами математического моделирования; использованием фундаментальных законов сохранения в дифференциальной форме, а также апробированием моделей гидродинамической структуры потоков в аппаратах.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях и семинарах. Получены патент на полезную модель и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа Столяровой Е.Ю. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения.

Во введении обосновывается актуальность темы научного исследования; формулируется цель и основные задачи работы; описывается предлагаемый автором

подход к решению поставленных задач; характеризуется степень новизны полученных результатов и их апробация.

В первой главе автор приводит обзор типовых конструкций градирен типов "Росинка", "ЕВРОМАШ", "ГРАД", ГМВ, ГРД; рассматривает существующие конструкции оросителей; приводит краткий обзор публикаций, посвященных экспериментальным и теоретическим исследованиям процессов теплообмена в градирнях.

Вторая глава посвящена разработке математической модели процесса теплообмена в противоточной пленочной вентиляторной градирне с учетом возможных неравномерностей распределения потоков воды и воздуха. Сначала рассматривается система дифференциальных уравнений тепло- и массообмена в фазах, и формулируются допущения и граничные условия. Автор применяет модель теплообмена с осреднением межфазных потоков по локальному объему; использует понятие объемных межфазных источников, которые связаны с коэффициентами переноса и движущими силами процессов.

Затем описывается модифицированный метод единиц переноса для насадок, одно- и двухпараметрическая ячеечная модель гидродинамической структуры потока.

Для решения системы уравнений в частных производных используется метод конечных разностей. Как результат решения приводятся расчетные зависимости коэффициентов массоотдачи в газовой фазе, тепловая эффективность охлаждения воды и безразмерные профили температуры воды по зонам градирни. В результате расчетов автором установлено, что при равномерном орошении насадки из-за неравномерности подачи воздуха снижение теплового КПД может составлять 5 – 30%.

В третьей главе приведено описание экспериментальной установки и результаты исследования гидродинамики и теплообмена на этой установке. Автор обосновывает целесообразность применения насадок, выбранных для данного исследования. Описаны показатели, которые измерялись и вычислялись в ходе экспериментальных исследований процесса на физической модели насадочной градирни. Как результат обобщения экспериментальных данных приведены эмпирические зависимости для расчета коэффициентов сопротивления орошаемого пучка из гладких и оребренных труб и объемного коэффициента массоотдачи для комбинированного оросителя, состоящего из слоя насадки "Инжехим 2012", размещенного над пакетом трубчатой регулярной насадки.

Выполнено сравнение результатов, полученных экспериментальным путем, с результатами исследования других авторов и сравнение коэффициентов массоотдачи,

полученных экспериментально и расчетом по математическим моделям, используя гидродинамическую аналогию, с учетом коэффициента смачиваемости поверхности насадки. Выполнен сравнительный анализ уравнений различных авторов для расчета числа Шервуда в газовой фазе с полученными экспериментальными данными для регулярных насадок. Получено удовлетворительное согласование расчетных и экспериментальных показателей.

В четвертой главе представлена разработанная конструкция мини градирни, содержащей комбинацию насадок; показана перспектива замены крупномасштабных градирен мини градирнями, отмечены преимущества применения мини градирен использующих комбинированные насадки. Для определения тепловой эффективности мини градирни автор применяет ячеечную модель и модель идеального вытеснения с дополнительными членами, учитывающие обратное перемешивание потоков. Расчетным путем показано, что тепловая эффективность в газовой фазе при охлаждении воды может достигать 90–98%, в зависимости от высоты слоя блока оросителя, что обеспечивается увеличенной поверхностью насадки и повышенным гидравлическим сопротивлением. Приведен сравнительный расчет эффективности эксплуатации крупномасштабной градирни СК-400 и мини градирни. Показано, что установка трех мини градирен взамен крупногабаритной градирни позволит снизить энергозатраты на подачу воды и воздуха в 1,7 раз.

В целом диссертация Столяровой Е.Ю. является законченным исследованием, представляет решение актуальных задач, объединенных общим подходом, обеспечивающим возможность преодоления сложностей при математических расчетах для определения тепловой эффективности теплообмена в градирнях.

Рекомендации по использованию научно-технических результатов и выводов диссертации.

Из диссертационной работы следует, что автором проведен большой объем экспериментальных исследований по определению гидравлических и теплообменных характеристик насадок для пленочной градирни. На основе теоретического анализа решена задача численного исследования профилей температур воды и воздуха и тепловой эффективности градирни при неоднородном распределении фаз.

Полученные результаты могут быть применены на предприятиях различных отраслей промышленности, в проектных организациях, а также в учебных заведениях.

Замечания по диссертационной работе

1. В автореферате и тексте диссертации неоднократно упоминается, что разработанные математические модели позволяют учесть неравномерность профиля скоростей газа и жидкости в градирне. Между тем результаты расчетов по этим моделям нашли отражение лишь в двух графиках – рис.2.7 с безразмерными профилями температуры воды и рис. 2.8 с зависимостью тепловой эффективности от неравномерности распределения скорости воздуха. Полагаю, что данная задача могла бы быть рассмотрена более подробно, в частности следовало развернуто описать причину снижения тепловой эффективности градирни при $w(r)/w(r) > 1$, а полученные результаты теоретических исследований этого вопроса могли бы стать основой интересных выводов и поводом для новых технических решений.

2. В исследованиях большое внимание уделено измерениям гидравлического сопротивления насадок в макете градирни. Отмечено, что для измерения перепада давления использовался дифманометр ПРОМА-ИДМ. Вместе с тем для данного измерительного прибора не указаны ключевые с точки зрения измеряемых величин параметры: класс точности, диапазон измерений, не дана оценка ошибки измерений. При этом в таблицах 5 (стр.172), 6 (стр.175), приведены расчетные значения коэффициентов гидравлического сопротивления с точностью до 6-го знака, а в таблицах 7 (стр.178), 8 (стр.181) до 9 знака (!), после десятичной запятой.

3. Имеются замечания по приведенным в тексте диссертации иллюстрациям.

В частности:

– на рис. 1.13 (стр.34) и в табл. 1.7 (стр.35) приведен график и характеристики оросителей, но используемые обозначения Me/h , λ , A , m не соответствуют приведенному на стр. 10–12 перечню обозначений, а в тексте не дается необходимых пояснений ни к графику, ни к таблице;

– наблюдается несогласованность данных приведенных на графических зависимостях для сухих и орошаемых насадок (рис.3.6 и 3.7, стр.96–97; рис. 3.17 и 3.18, стр.104). Сопоставление перечисленных рисунков показывает, что гидравлическое сопротивление сухой насадки при некоторых значениях скорости газа оказывается выше значений гидравлического сопротивления орошаемой насадки при тех же значениях скорости газа.

4. Известно, что на работу градирен оказывает существенное влияние масштабный эффект. Автором в 4-й главе приводится алгоритм расчета градирни, но не дается оценка применимости представленного алгоритма для расчета градирен большего типоразмера.

Заключение

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования Столяровой Е.Ю.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 15 научных работах, 5 из них из списка рекомендованного ВАК, из них 2 – входящих в базу Scopus. Также результаты исследования прошли апробацию на научных конференциях и семинарах. Автореферат и научные статьи, опубликованные автором, достаточно полно отражают основное содержание диссертации, характеризуют результаты выполненных экспериментальных исследований.

Уровень решаемых задач соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Диссертационная работа Столяровой Екатерины Юрьевны «Повышение тепловой эффективности охлаждения воды в пленочной градирне с комбинированными блоками оросителей» является завершенной научно-квалификационной работой, где решаются задачи повышения эффективности тепломассообмена при охлаждении воды. Диссертация по критериям актуальности, научной новизны, обоснованности и достоверности выводов соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрауки России, установленным в пп.9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 в редакции от 18.03.2023), а соискатель Столярова Екатерина Юрьевна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника».

Официальный оппонент

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Технологическое
оборудование и транспортные системы»
Дзержинского политехнического института (филиала)
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
"Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексева"

Сидягин
Андрей Ананьевич

Подпись официального оппонента заверяю
Директор ДПИИГТУ

Петровский Александр Михайлович

Контактные данные:

ФИО: Сидягин Андрей Ананьевич

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: профессор кафедры «Технологическое оборудование и транспортные системы»

Специальность докторской диссертации: 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий

Организация: Дзержинский политехнический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Рабочий адрес: 606026, Российская Федерация, Нижегородская область,
г. Дзержинск, ул. Гайдара, д. 49

Контактный телефон: +7 (8313) 34-12-88

E-mail: cdo@dpingtu.ru