

Исследование теплотехнических процессов в пластинчатом теплообменнике

Н. Ю. Саввин ¹ ✉, Л. А. Куцев ¹, В. А. Уваров ¹, Г. Л. Окунева ¹

¹ Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова
ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород 308012, Российская Федерация

✉ e-mail: n-savvin@mail.ru

Резюме

Целью исследования является выявление зон вихреобразования в модифицированном гофрированном канале пластинчатого теплообменника с помощью компьютерного моделирования для увеличения интенсификации теплообменного процесса.

Методы. Пластинчатые теплообменники имеют компактную конструкцию, что позволяет существенно сэкономить место на производственных площадях и облегчить монтаж и демонтаж оборудования. В соответствии с целью данной работы нами решалась задача создания искусственной турбулизации потока для увеличения теплотехнических характеристик. Для реализации поставленной задачи разработаны пластины, имеющие специальную геометрию, которая создает турбулентный поток жидкости в каналах между пластинами и увеличивает коэффициент теплоотдачи. Это позволяет достигать более высокой эффективности теплообмена при той же площади обмена, что снижает затраты на оборудование и эксплуатацию.

Результаты. Результатом данной работы является реализация компьютерной модели модифицированного гофрированного канала для визуальной оценки влияния искусственно созданных турбулизаторов на степень вихреобразования.

Заключение. Внедрение пластин, основная теплообменная часть которых содержит технологические лунки сферической формы, позволяет увеличить эффективность теплообменного процесса за счет роста коэффициента теплопередачи. Кроме того, увеличение коэффициента теплопередачи будет способствовать снижению металлоемкости и стоимости теплообменного оборудования.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменный аппарат; турбулизация; коэффициент теплопередачи; компьютерное моделирование; вихреобразование.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Исследование теплотехнических процессов в пластинчатом теплообменнике / Н. Ю. Саввин, Л. А. Куцев, В. А. Уваров, Г. Л. Окунева // Известия Юго-Западного государственного университета. 2023; 27(1): 19-28. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-1-19-28>.

Поступила в редакцию 26.01.2023

Подписана в печать 20.03.2023

Опубликована 14.04.2023

© Саввин Н. Ю., Куцев Л. А., Уваров В. А., Окунева Г. Л., 2023

Введение

Потребление тепловой энергии в секторе централизованного теплоснабжения в России в 2020 г. составило 3,7 миллиарда Гигакалорий. По сравнению с 2019 годом это снижение на 5,6%. Наибольший объем потребления тепловой энергии в 2020 году пришелся на жилой сектор – 2,2 миллиарда Гигакалорий. Доля потребления в промышленности составила 0,9 миллиарда Гигакалорий, в коммунальном и социальном секторах – 0,6 миллиарда Гигакалорий.

В целом, в 2020 году потребление тепловой энергии в секторе ЦТС снизилось из-за мягкой зимы и сокращения объемов производства в промышленности вследствие пандемии COVID-19. Однако специалисты отмечают, что долгосрочный тренд увеличения энергоэффективности и расширения использования альтернативных источников энергии сохраняется. За последние 16 лет конечное потребление тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения снизилось с 1382 до 1126 млн Гкал в год (рис.1) [1, 2].

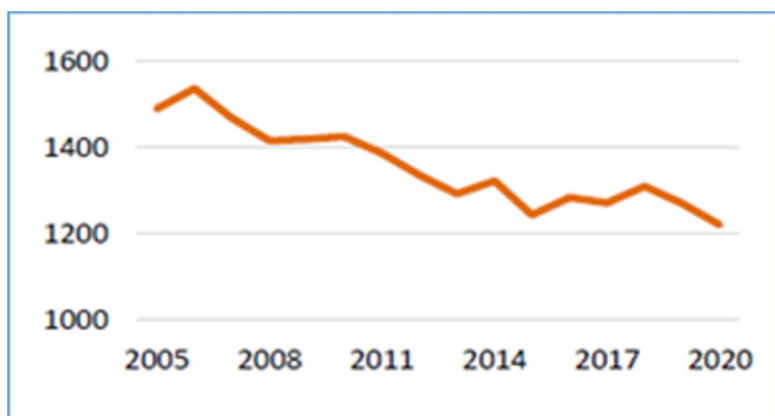


Рис. 1. Динамика отпуска тепловой энергии от источников тепла

Снижение объемов потребления тепловой энергии объясняется внедрением энергоэффективного технологичного оборудования и повышением осведомленности населения о сбережении энергоресурсов. Различные государственные программы по стимулированию энергоэффективности также оказывают положительное влияние на потребление тепла. Например, субсидии на установку энергосберегающих оборудования в жилых

помещениях и льготные кредиты на энергоэффективный ремонт зданий. В результате, снижение потребления тепла приводит к экономии средств и улучшению экологической ситуации в регионе [3, 4].

Оценивая динамику развития теплоэнергетического комплекса Российской Федерации можно сделать вывод, что наблюдаются:

- увеличение доли газовых электростанций в производстве электроэнергии;

- сокращение доли угля в производстве тепловой энергии;
- рост общей мощности генерирующих объектов;
- введение новых технологий, таких как использование возобновляемых источников энергии (ветроэнергетика, солнечная энергия, гидроэнергетика) и когенерации;
- модернизация и реконструкция существующих объектов для увеличения их эффективности и надежности;
- внедрение систем автоматизации и дистанционного управления объектами теплоэнергетики;
- улучшение экологических показателей производства.

Целью энергетической политики России является обеспечение надежной и безопасной энергетической базы страны, увеличение эффективности использования энергоресурсов, сокращение экологических рисков и повышение экономической конкурентоспособности России на мировом рынке энергоресурсов. Основными задачами являются совершенствование технологий добычи, транспортировки и переработки энергетических ресурсов, развитие инфраструктуры и повышение энергетической безопасности России. Обеспечение устойчивого экономического роста и улучшения качества жизни населения страны зависит от эффективного использования природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора. Для этого необходимо принимать меры по снижению энергопотребления, разработке технологий, использующих возобнов-

ляемые источники энергии, а также развитию рынка энергетических услуг. Это не только сократит негативное влияние на окружающую среду, но и позволит укрепить внешне-экономические позиции страны через рост экспорта инновационной продукции, связанной с энергетикой. Кроме того, развитие энергетического сектора может способствовать созданию новых рабочих мест, увеличению налоговых поступлений и повышению конкурентоспособности экономики в целом [5, 6].

Материалы статьи являются продолжением исследований, рассмотренных в работе [7].

Материалы и методы

Моделирование процессов, устройств и аппаратов в настоящее время является универсальным методом научного исследования. Моделирование с помощью компьютерных технологий – эффективный метод исследования, который позволяет значительно сэкономить время и ресурсы. Оно позволяет изучать объекты и процессы, которые невозможно изучить природными методами и является важным инструментом для понимания результатов экспериментов. Особенно это важно при проектировании систем теплогазоснабжения в жилищно-коммунальном хозяйстве Российской Федерации [7-9].

ЖКХ является одной из ключевых отраслей народного хозяйства России, охватывающей многообразное производственно-техническое развитие. Необходи-

димось в продукции, производимой этим комплексом, является практически неиссякаемой. Он включает в себя жилые, общественные здания, эксплуатационные, ремонтно-строительные, транспортные, энергетические и другие предприятия, формирующие сложную социально-экономическую систему. Развитие городских объектов и качество жизни жителей находятся в прямой зависимости от эффективности функционирования ЖКХ [10-16].

Процессы, происходящие в системах теплогазоснабжения ЖКХ РФ, отличаются большой динамичностью, нестационарностью. Также для них характерна большая инерционность, сложные структурные связи, зависимость от окружающей среды.

Поэтому для их изучения широко применяются методы математического, имитационного моделирования, служа-

щие базой для создания цифрового двойника [17-19].

Первым этапом стала разработка оригинальной геометрии основного элемента пластинчатого теплообменного аппарата - теплообменной пластины. Ее оригинальность заключается в том, что ее поверхность имеет сферические углубления, располагающиеся на площадках между рифлений в шахматном порядке и имеющие различный диаметр по линейному закону, между соседними рифлениями основной теплообменной части (рис. 2) [20].

Использование пластин со сферическими технологическими углублениями повышает эффективность теплообмена между двумя жидкостями, так как они способствуют турбулентному потоку теплоносителя в теплообменнике, что увеличивает коэффициент теплопередачи.

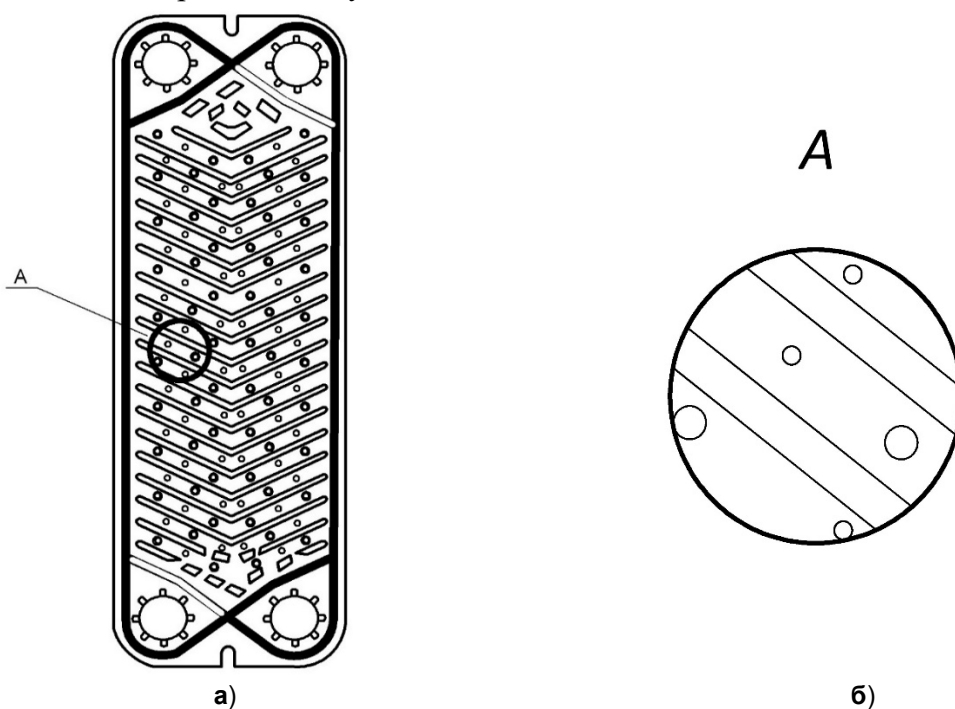


Рис. 2. Пластина: а – общий вид; б – вид А

Результаты и их обсуждение

Применение систем автоматического проектирования (САПР) существенно упрощает и ускоряет процесс разработки, позволяя работать с большим объемом информации и автоматически обрабатывать данные. В частности, разработка интенсифицированного пластинчатого теплообменного аппарата требует точной моделировки процессов теплооб-

мена, гидродинамики и других факторов, что невозможно без компьютерной поддержки. САПР также помогает увеличить точность и надежность проектирования, сокращает затраты на испытания и эксперименты, а также повышает конкурентоспособность продукции на рынке.

Основу процесса проектирования составляет алгоритм математической или экспериментальной модели, представленный на рис. 3 [16].

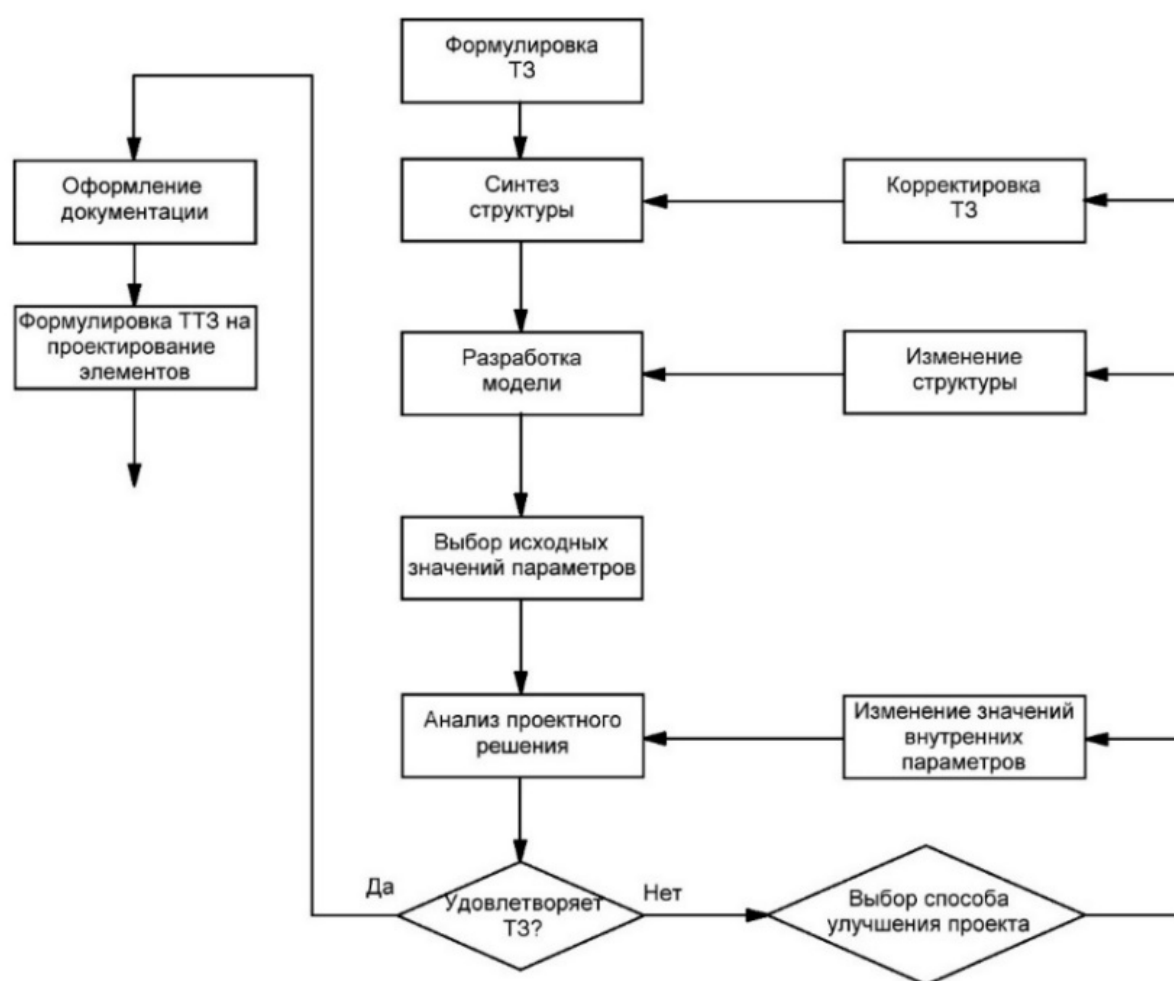


Рис. 3. Схема процесса проектирования

Математическое моделирование позволяет предсказывать поведение систем в различных условиях, оптимизировать

процессы и минимизировать риски. Это является неотъемлемой частью ряда научных и технических областей, от

физики и химии до экономики и биологии. Более того, математические модели часто вызывают новые идеи и гипотезы, которые можно проверить эксперимен-

тально [17-19]. Пример алгоритма математической модели представлен на рис. 4.

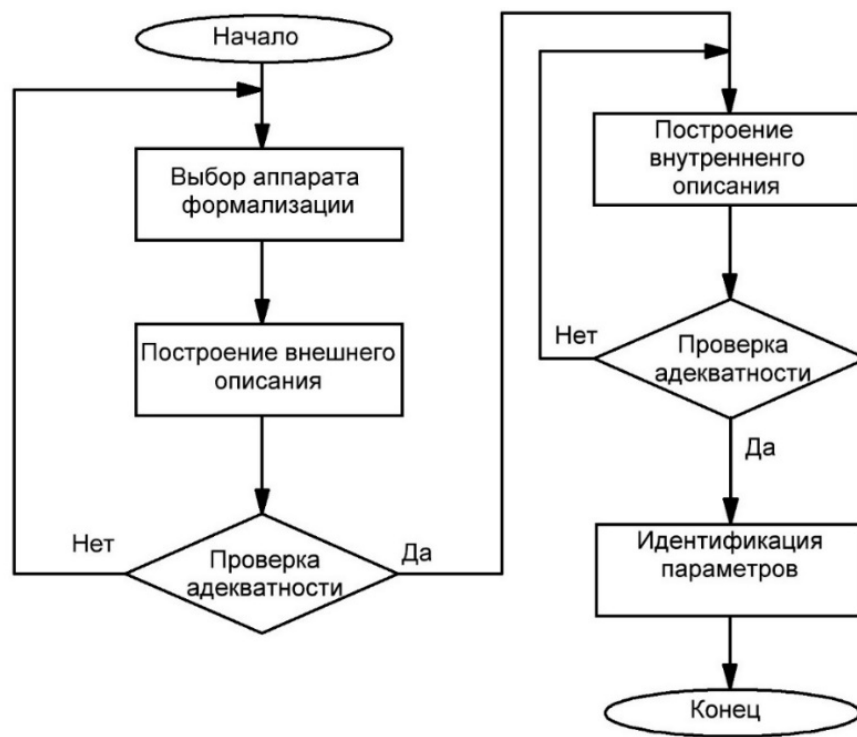


Рис. 4. Алгоритм процесса построения математической модели

Современные технологии в области компьютерного моделирования позволяют предсказывать поведение объектов и процессов в различных условиях, оптимизировать параметры систем и создавать более эффективные решения. Моделирование является важным инструментом для научных исследований, анализа экспериментов и проектирования новых технологических процессов и устройств. Оно позволяет сократить временные и финансовые затраты на проведение физических экспериментов и повысить точность получаемых результатов. Кроме того, моделирование позволяет предсказывать возможные

негативные последствия и разрабатывать меры по их устранению до реальной реализации проектов [21].

Главным шагом в процессе моделирования теплообменных процессов в программном комплексе «Ansys» является разработка двухмерной модели и ее дальнейшая интеграция в трехмерную модель. После этого, проводится анализ результата моделирования с помощью соответствующих техник и инструментов для оптимизации процесса теплообмена. В результате, процесс моделирования помогает определить наилучшие параметры для эффективного теплообмена. Для моделирования теп-

лообменных процессов необходимо руководствоваться следующими критериями устойчивости системы:

- плотность теплоносителей постоянна;
- $W_1 = 0,1 - 1,5$ м/с, где W_1 – скорость жидкости на входе;
- теплообмен с окружающей средой присутствует;

– движение жидкости происходит в поле силы тяжести ($g = 9,81$ м/с²);

– $W_2 = 0,1 - 1,5$ м/с, где W_2 – скорость жидкости на выходе;

– $p = 0,9$ МПа, где p – давление в трубопроводе.

Именно такой алгоритм позволяет полноценно оценить степень турбулизации потока теплоносителя на границе раздела фаз пластина-жидкость (рис. 5, 6).

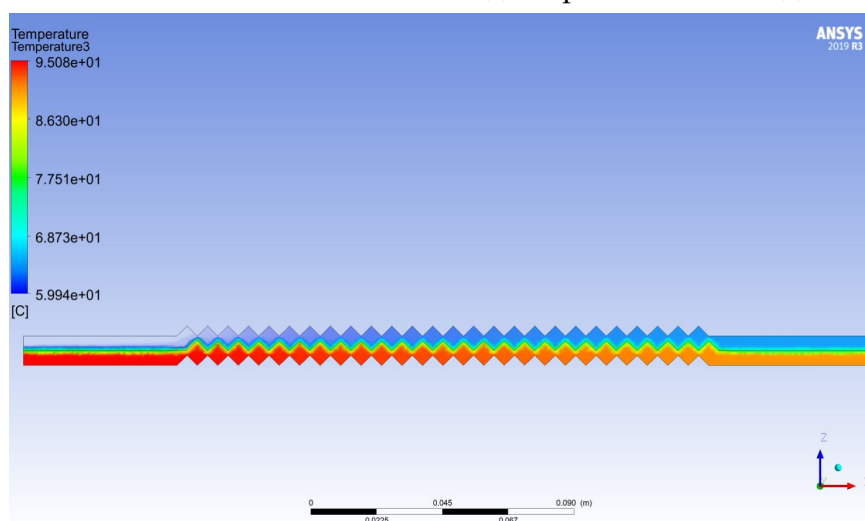


Рис. 5. Моделирование температурного распределения теплоносителя в модифицированном гофрированном канале (двухмерная модель)

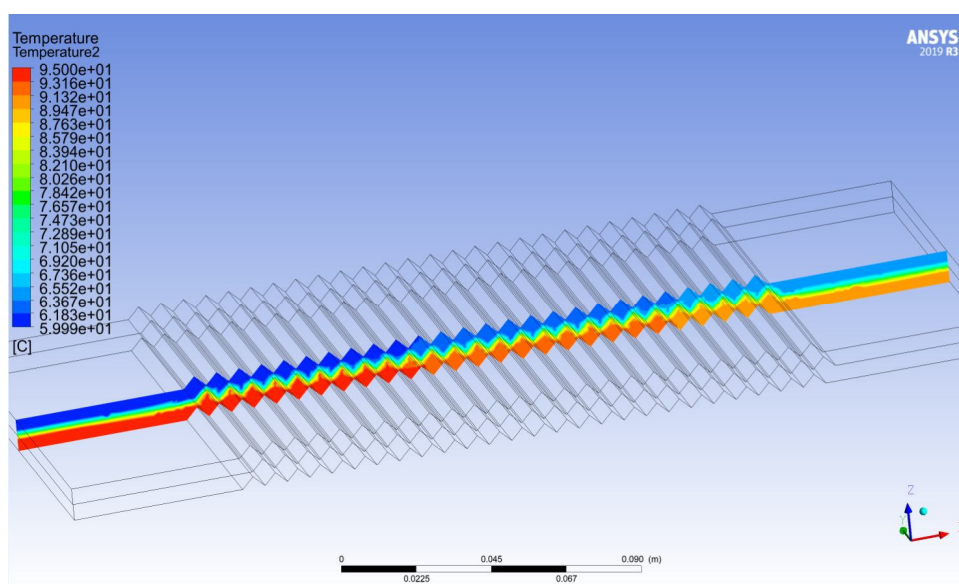


Рис. 6. Моделирование температурного распределения теплоносителя в модифицированном гофрированном канале (трехмерная модель)

Изучая результаты, полученные в ходе компьютерного моделирования распределения температуры в теплоносителе в гофрированном канале, были выявлены области вихревого движения, которые существенно влияют на повышение эффективности теплообмена и увеличение коэффициента теплопередачи. Эта информация может быть полезной для дальнейшего оптимизирования процесса теплообмена и повышения его эффективности.

Выводы

Использование предложенной оригинальной конструкции теплообменной пластины приводит к увеличению турбулизации теплоносителя, что подтверждается моделированием противоточного движения теплоносителей в греющем и нагреваемом контурах на основе созданной 3D-модели.

Список литературы

1. Доклад о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2020 г. // Министерство энергетики Российской Федерации [сайт], 2022. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/22832> (дата обращения: 18.01.2023).
2. Башмаков И. А. Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения России // Новости теплоснабжения. 2008. Т. 2. С. 6-9.
3. Теплоснабжение населенных пунктов // Федеральная служба государственной статистики [сайт], 2022. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/jkh3.docx> (дата обращения 06.11.2022).
4. Кущев Л.А., Саввин Н.Ю., Якшин С.С. Современные способы повышения эффективности работы отопительных приборов в ЖКХ // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых. Курск, 2020. С. 304-307.
5. Heat transfer and friction characteristics of turbulent flow through a circular tube with ball turbulators / W. Yuan, G. Fang, X. Zhang, Y. Tang, Z. Wan, S. Zhang // Applied sciences. 2018. Т. 8. №. 5. P. 776.
6. Семикашев В. В. Теплоснабжение в России: текущая ситуация и проблемы инвестиционного развития // Всероссийский экономический журнал ЭКО. 2019. №. 9. С. 23-47.
7. Alfarawi S., Abdel-Moneim S.A., Bodalal A. Experimental investigations of heat transfer enhancement from rectangular duct roughened by hybrid ribs // International Journal of Thermal Sciences. 2017. Vol. 118. P. 123-138.
8. Интенсификация теплообмена / В.Н. Белозерцев, В.В. Бирюк, А.И. Довгялло, С.О. Некрасова, Д.А. Угланов, Д.В. Сармин. Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. 208 с.

9. Круглов Г.А., Бакунин В.В., Андреева М.В. Теоретические исследования степени взаимосвязи турбулизации потока с коэффициентом теплоотдачи // Вестник КрасГАСУ. 2015. № 6. С. 67–73.
10. Жукаускас А. А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982. 472 с.
11. Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 1975. 497 с.
12. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 344 с.
13. Kang C., Yang K. S. Characterization of turbulent heat transfer in ribbed pipe flow // Journal of Heat Transfer. 2016. Т. 138. №. 4. С. 41-50.
14. Maradiya C., Vadher J., Agarwal R. The heat transfer enhancement techniques and their thermal performance factor // Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2018. Vol. 7. №. 1. P. 1-21.
15. Song K., Tagawa T., Chen Z. Flow Symmetry and Heat Transfer Characteristics of Winglet Vortex Generators Arranged in Common Flow up Configuration // Symmetry. 2020. № 12. С. 38-44.
16. Куцев Л.А., Саввин Н.Ю. Тепловизионные исследования оригинальной пластины теплообменника // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. №. 1. С. 38-45.
17. Кулаков В.В., Каськов С.И. Экспериментальное исследование теплообменной поверхности с полусферическими выступами и впадинами // Будущее машиностроения России. 2018. С. 381-384.
18. Земсков А.А., Бакрунова Т.С. Способы интенсификации теплообмена // Актуальные проблемы энергетики АПК. Саратов, 2019. С. 110-111.
19. Alfarawi S., Abdel-Moneim S.A., Bodalal A. Experimental investigations of heat transfer enhancement from rectangular duct roughened by hybrid ribs // International Journal of Thermal Sciences. 2017. Т. 118. С. 123-138.
20. Патент на полезную модель № 200477 U1 Российская Федерация, МПК F28F 3/00. Пластина теплообменника: № 2020125892 : заявл. 04.08.2020 : опубл. 27.10.2020 / Н. Ю. Саввин, Л. А. Куцев, М. В. Серебrenикова, И. В. Волабуев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».
21. Экспериментальные исследования перспективных способов интенсификации теплопередачи в трубчатом теплообменнике / Б.О. Кустов, А.В. Бальчугов, А. В. Бадеников, М.В. Герасимчук, К.Д. Захаров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. №. 3. С. 174-183.

Информация об авторах

Саввин Никита Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация, e-mail: n-savvin@mail.ru

Кущев Леонид Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация, e-mail: leokushev19@mail.ru

Уваров Валерий Антальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация, e-mail: tgv@bstu.ru

Окунева Галина Леонидовна, кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация, e-mail: orynevagalina@mail.ru