

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 697.11

DOI: 10.22227/2305-5502.2026.1.11

Оптимизация гидравлических характеристик отопительных приборов для улучшения теплоотдачи

Никита Юрьевич Саввин, Татьяна Николаевна Ильина,
Руслан Валерьевич Лесовик, Валерия Валерьевна Строкова
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова); г. Белгород, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматривается проблема снижения потребления тепловой энергии и повышения энергоэффективности систем отопления в жилищном секторе для увеличения их жизненного цикла. Разработка новых конструкций отопительных приборов является актуальной задачей. Цель исследования — провести вычислительный эксперимент для определения гидродинамических характеристик смоделированных трубчатых радиаторов отопления разных типов, включая конструкции с усиленной турбулизацией теплоносителя.

Материалы и методы. Выполнен анализ актуальной научной литературы, посвященной повышению эффективности работы систем отопления. Моделирование процесса движения теплоносителя осуществлено в программном комплексе SOLIDWORKS.

Результаты. Разработаны новые конструкции отопительных приборов, которые позволяют снизить объемы потребления тепловой энергии и повысить общую энергоэффективность систем отопления. Исследовано влияние конструктивных элементов на движение теплоносителя. Выяснено, что максимальные показатели турбулентности и эффективность теплообмена обеспечиваются при применении спиральных вставок в радиаторах.

Выводы. Практические эксперименты подтвердили повышение эффективности обогревательных приборов со спиральными вставками примерно на 3 %, что ведет к уменьшению энергопотребления и эксплуатационных расходов. Улучшенные характеристики оборудования обеспечивают уменьшение нагрузки на инженерные сети, продлевая их ресурс эксплуатации и снижая потребность в частом техническом обслуживании.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отопительный прибор, моделирование, турбулизация, экспериментальные исследования, эффективность теплообмена, спиральная вставка, пластина, теплоноситель

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Саввин Н.Ю., Ильина Т.Н., Лесовик Р.В., Строкова В.В. Оптимизация гидравлических характеристик отопительных приборов для улучшения теплоотдачи // Строительство: наука и образование. 2026. Т. 16. Вып. 1. Ст. 11. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2026.1.11

Автор, ответственный за переписку: Никита Юрьевич Саввин, n-savvin@mail.ru.

Optimization of hydraulic characteristics of heating devices to improve heat transfer

Nikita Yu. Savvin, Tatiana N. Ilyina, Ruslan V. Lesovik, Valeria V. Strokovva
*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov);
Belgorod, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The problem of reducing thermal energy consumption and increasing the energy efficiency of heating systems in the residential sector in order to increase their life cycle is considered. The development of new heating device designs is an urgent priority. The aim of this study is to conduct a computational experiment to determine the hydrodynamic characteristics of simulated tubular radiators of various types, including designs featuring enhanced coolant turbulence.

Materials and methods. An analysis of relevant scientific literature devoted to improving the efficiency of heating systems was carried out. The modelling of the coolant flow process was performed using the SOLIDWORKS software package.

Results. New designs of heating devices were developed that enable a reduction in heat energy consumption and an increase in the overall energy efficiency of heating systems. The influence of structural elements on coolant flow was

investigated. It was found that maximum turbulence values and heat exchange efficiency are achieved by using spiral inserts in radiators.

Conclusions. Practical experiments have confirmed an increase in the efficiency of heating devices with spiral inserts by approximately 3 %, which leads to a reduction in energy consumption and operating costs. Improved equipment characteristics reduce the load on utility networks, extending their service life and reducing the need for frequent maintenance.

KEYWORDS: heating device, modelling, turbulation, experimental studies, heat exchange efficiency, spiral insert, plate, heat carrier

FOR CITATION: Savvin N.Yu., Ilyina T.N., Lesovik R.V., Strokova V.V. Optimization of hydraulic characteristics of heating devices to improve heat transfer. *Construction: Science and Education*. 2026; 16(1):11. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2026.1.11

Corresponding author: Nikita Yu. Savvin, n-savvin@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в России и ряде других индустриально развитых государств отмечается стабильная тенденция к снижению потребления тепловой энергии. Рассматривается проблема существенных теплопотерь в России, обусловленная переходом промышленных предприятий на автономное теплоснабжение и повышением энергетической эффективности оборудования. Тем не менее в результате экономических преобразований начала 1990-х гг. данная проблема приобрела критический характер. Научные исследования демонстрируют увеличение теплопотерь при транспортировке практически в 2,5 раза, что незамедлительно отразилось на тарифной политике для конечных потребителей. Главной причиной столь резкого роста потерь стал неудовлетворительный технический статус инженерных сетей, характеризующийся высоким уровнем физического износа¹ [1, 2].

Вопрос теплоснабжения требует неотложных мер по повышению эффективности работы всей системы. Потери тепла приводят не только к росту тарифов, но и к ухудшению качества предоставляемых услуг, что негативно сказывается на уровне комфорта жителей. Особенно остро это ощущается в секторе жилищного строительства вследствие того, что перспективы возможного энергосбережения в течение года приближаются к 400 млн Гкал [3].

Согласно выводам, представленным авторами работы [4], увеличение энергоэффективности новых строительных объектов незначительно влияет на рост стоимости застройки. С практической перспективы модернизация существующих систем отопления в жилых зданиях путем замены устаревшего оборудования представляется более экономически оправданной и быстрой альтернативой полной реконструкции жилого фонда. Этот метод позволяет значительно сократить затраты и временные ресурсы, делая его приоритетным выбором для большинства коммунальных предприятий и управляющих организаций [5–7].

В исследовании [8] анализируются подходы к повышению энергоэффективности отопительных систем

как в действующих, так и проектируемых жилых объектах с применением передовых технологических решений. Полученные результаты демонстрируют, что комплексная модернизация систем отопления способна обеспечить улучшение их эффективности.

Проведен сравнительный анализ процентов снижения удельной характеристики потребления тепловой энергии [9]. В качестве результатов представлены расчеты характеристик системы отопления многоэтажного здания. Аналогичные исследования приведены в трудах [10, 11].

Рассмотрены имеющиеся типы систем отопления жилого дома [12]. Установлено, что благодаря самостоятельному регулированию подачи тепла экономия за оплату составляет в среднем от 20 до 30 %. Подтверждение этого исследования опубликовано и в работе [13].

Изучен вопрос оценки затрат на строительство тепловых сетей и проведен сравнительный анализ размера коммунальных платежей при различных методах теплоснабжения [14]. Выявлено, что централизованные системы теплоснабжения оказываются более дорогостоящими для жильцов.

На сегодняшний день наблюдается тенденция увеличения интереса к внедрению энергоэффективных интеллектуальных систем теплоснабжения [15]. Известно, что важнейшим этапом при разработке таких систем, равно как и всех видов отопительных систем в целом, является процесс моделирования. В цикле публикаций [16–18] рассматриваются вопросы создания основы цифрового двойника системы отопления жилого здания с целью повышения эффективности управления тепловой энергией. Использование процесса моделирования дает возможность не только сэкономить энергоресурсы, но и оптимизировать действия в нестандартных ситуациях, включая аварийные режимы.

Особый интерес представляет исследование [19], а именно выводы, указывающие на важность внедрения новых конструкций отопительных приборов на этапе реконструкции. Разработка новых конструкций отопительных приборов остается актуальной задачей и по настоящее время. Современные требования к энергоэффективности диктуют необходимость создания устройств, обладающих улучшенными техническими характеристиками, такими как высокая те-

¹ Теплоснабжение населенных пунктов // Федеральная служба государственной статистики. 2022. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/jkh3.docx>

плопроизводительность, долговечность и простота монтажа. Решение этой задачи подразумевает объединение усилий ведущих инженеров и ученых, способных предложить инновационные технические решения, способные удовлетворить растущие потребности общества в качественной и доступной тепловой энергии [20]. Популярным и незатратным способом осуществления анализа эффективности работы систем отопления выступает компьютерное моделирование. Его распространенность обусловлена значительно меньшими затратами в сравнении с реальными экспериментальными исследованиями, поскольку для физических испытаний необходимо изготавливать прототип оборудования. Среди инженерных программ особое внимание хотелось бы уделить системе проектирования SOLIDWORKS. Данный программный продукт удовлетворяет всем требованиям, поставленным авторами, а именно позволяет осуществить моделирование движения потока теплоносителя в определенном диапазоне скоростей.

Цель исследования — изучение различных оригинальных конструкций отопительного прибора и сравнение результатов с серийным оборудованием. Это поможет лучше понять работу таких устройств и улучшить их дизайн для достижения наибольшей эффективности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Характер движения жидкости оказывает значительное влияние на эффективность процессов теплопередачи. В подавляющем большинстве отопительных приборов наблюдается ламинарный режим, поэтому количество передаваемой тепловой энергии в помещение зависти от типа теплоносителя, его свойств и конструктивных особенностей отопительного оборудования [21].

Оценка эффективности теплоотдачи в трубчатых и канальных системах традиционно производится с применением коэффициента теплоотдачи. Установлено, что число Нуссельта растет пропорционально увеличению значения критерия Рейнольдса, указывая на возрастание коэффициента теплоотдачи с ростом числа Re [22, 23].

Исследовательские работы зарубежных специалистов [24–26] демонстрируют, что оребрение; использование шероховатых поверхностей, вставок различной геометрической формы способствуют увеличению степени завихренности потока и, как следствие, росту эффективности теплообмена. Иными словами, основной задачей всех исследований выступает разработка таких конструкций отопительных приборов, которые сочетали бы в себе оптимальное соотношение массогабаритных показателей и коэффициента теплоотдачи — основного показателя, характеризующего эффективность работы отопительного прибора [27].

Все методы воздействия на поток теплоносителя можно разделить на две большие категории — активные и пассивные [28].

Суть активных методов заключается в воздействии на оборудование, а не на поток. Под воздействием понимается создание вибрации, магнитных полей или акустических [29].

К пассивным методам можно отнести способы, влияющие непосредственно на поток теплоносителя. Для этого изменяют конструкцию как радиатора, так и его канала, т.е. устанавливают вставки различной геометрической формы. В научной литературе такие вставки называются турбулизаторы [30, 31].

Таким образом, выбор оптимального метода интенсификации теплоотдачи должен учитывать специфику конкретной системы и желаемые параметры теплообмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В системах отопления традиционно используются многосекционные радиаторы отопления. Их внешний вид и конструктив представлены на рис. 1.

Свою популярность данный тип радиаторов получил благодаря простоте конструкции и изготовления, поскольку не требуется специализированное оборудование. Из-за этого параметры (высота, диаметр и т.д.) радиаторов могут варьироваться исходя из технических условий или требований заказчика. Несомненным плюсом является простота ухода, осо-

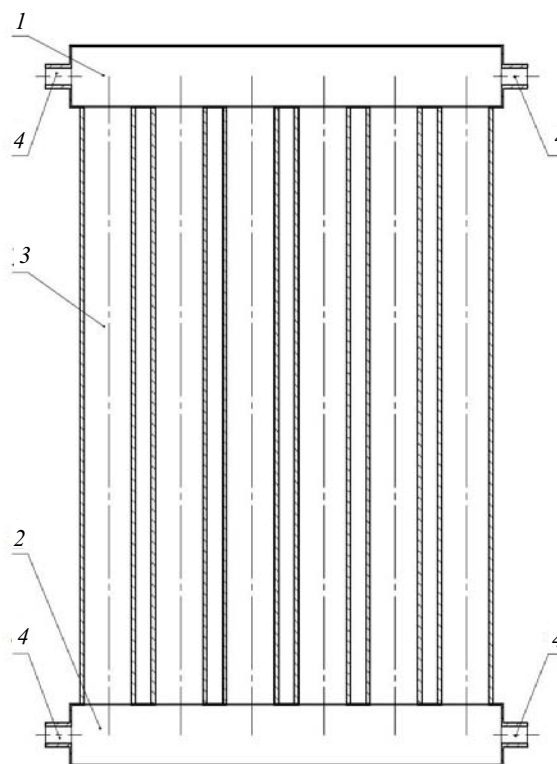


Рис. 1. Серийный радиатор отопления: 1, 2 — коллекторы; 3 — секция; 4 — сгон

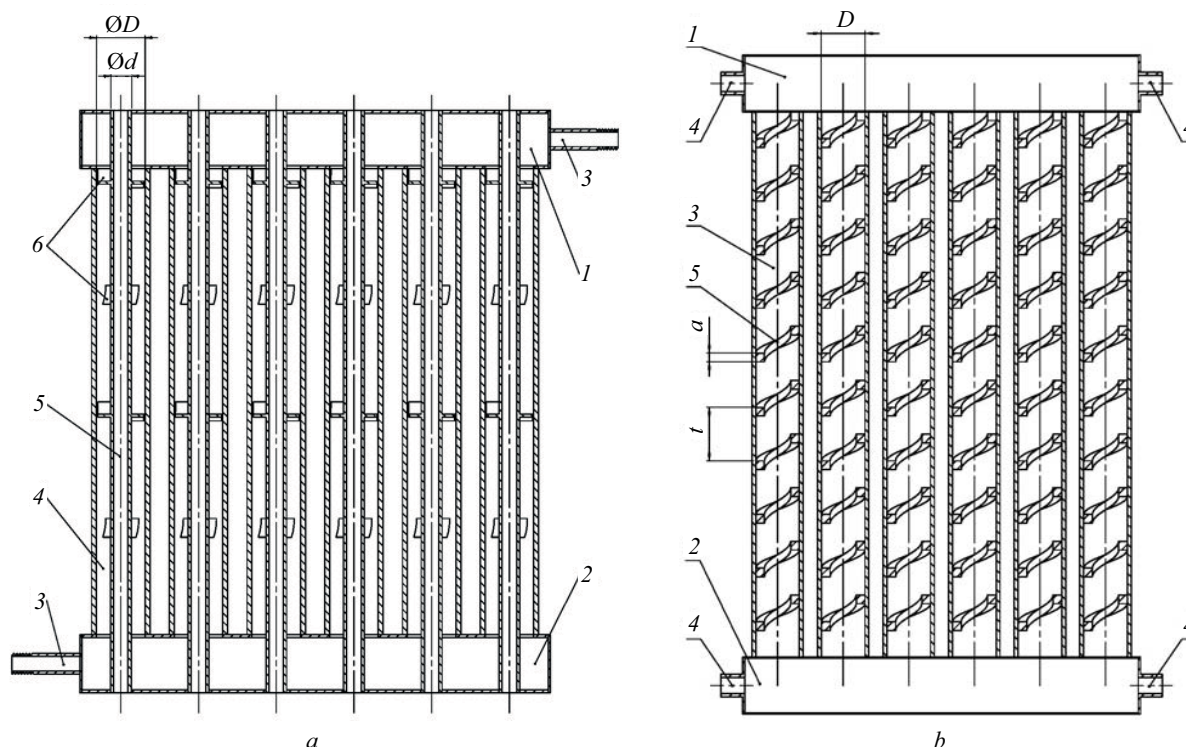


Рис. 2. Чертежи оригинальных радиаторов: *a* — конструкция радиатора с вогнутыми пластинами; 1, 2 — коллекторы; 3 — секция; 4 — сгон; 5 — внутренняя труба; 6 — турбулизатор; *b* — конструкция радиатора со спиральными вставками; 1, 2 — коллекторы; 3 — секция; 4 — сгон; 5 — внутренняя труба

бенно это важно в запыленных помещениях и производствах. Если говорить о недостатках, основным необходимо указать низкую степень турбулизации теплоносителя.

Для решения этой проблемы были разработаны три оригинальных конструкции на базе серийного радиатора отопления [32–35]:

- радиатор с вогнутыми пластинами (рис. 2, *a*) [33];
- со спиральными вставками (рис. 2, *b*) [34];
- с дисковыми вставками (рис. 3) [35].

Важно отметить, что пластины (см. рис. 2, *a*) монтируются под определенным углом относительно друг друга, образуя ряды. Расстояние между этими рядами рассчитывается таким образом, чтобы обеспечить постоянную турбулентность движения теплоносителя, способствующую лучшему теплообмену.

В радиаторах с дисковыми вставками (рис. 3) турбулизаторы располагаются внутри вертикального канала, обеспечивая дополнительную площадь поверхности для теплообмена. Такая структура позволяет эффективно передавать тепловую энергию от теплоносителя в окружающую среду.

Дальнейшие исследования предполагают создание компьютерных моделей каналов оригинальных конструкций и модели серийного отопительного прибора (рис. 4) с последующим анализом результатов моделирования движения теплоносителя. Эту задачу удалось решить с помощью ком-

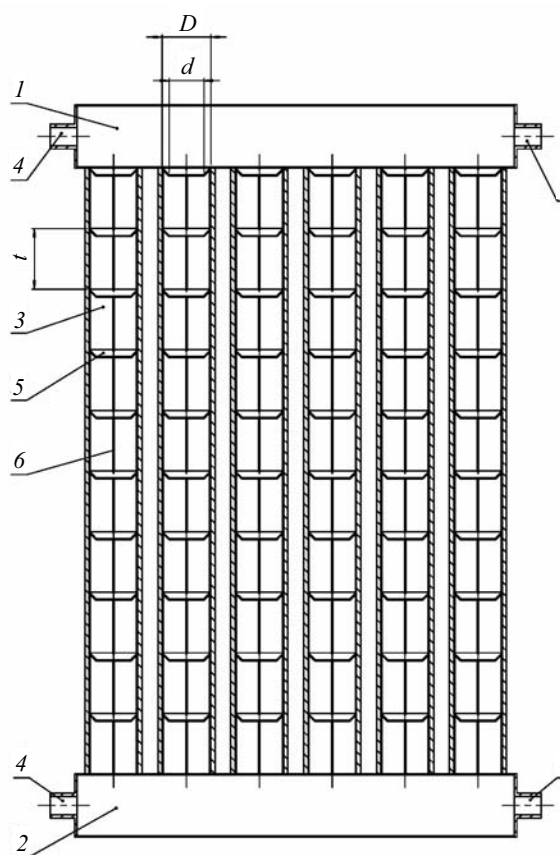


Рис. 3. Чертеж радиатора с дисковыми вставками; 1, 2 — коллекторы; 3 — секция; 4 — сгон; 5 — вставка; 6 — ось

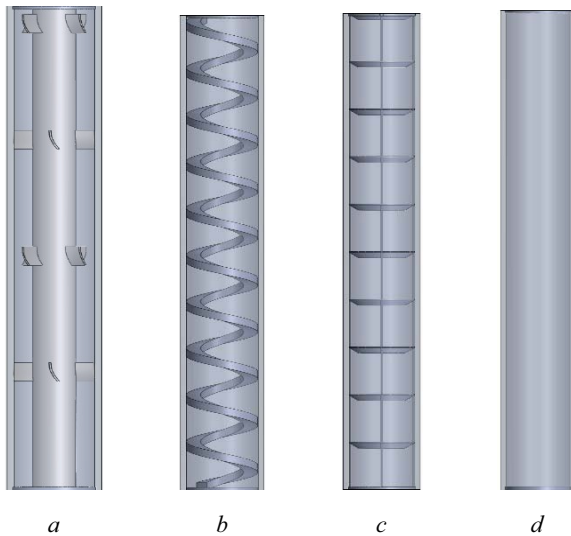


Рис. 4. Объемные модели секций радиатора: *a* — с вогнутыми пластинами; *b* — со спиральными вставками; *c* — с дисковыми вставками; *d* — стандартного радиатора

плекса SOLIDWORKS, поскольку это мощный инструмент для трехмерного моделирования, который широко применяется инженерами и дизайнерами для создания высокоточных цифровых прототипов изделий. Когда речь идет о моделировании потоков теплоносителей в каналах радиатора отопления, SOLIDWORKS предлагает множество преимуществ, которые делают его идеальным выбором для вы-

полнения подобных задач. Выбор этого программного обеспечения позволяет инженерам создавать точные цифровые прототипы, проводить комплексные расчеты и оптимизировать конструкции радиаторов, что ведет к повышению их эффективности и долговечности.

Нахождение численного значения коэффициента турбулизации заключается в проведении моделирования движения теплоносителя при различных скоростях.

Определение критерия Рейнольдса выполнено при скорости теплоносителя от 0,5 до 1,5 м/с для всех типов конструкций соответственно. Результаты представлены на рис. 5.

По результатам видно, что зависимости возрастают линейно с увеличением скорости теплоносителя. Чем больше скорость, тем выше и эффективность работы. Также с ростом скорости увеличивается разрыв между оригинальным оборудованием и серийным. Так, при скорости 0,5 м/с разрыв в числах Re составляет 3, а при скорости 1,5 м/с число Re больше в среднем на 850. Пиковые значения Re и максимальный темп его прироста фиксируются при увеличении скорости в ходе симуляционных экспериментов над потоком в секции, оснащенной спиральными компонентами.

Для верификации точности полученных сведений выполнен сравнительный анализ величин коэффициента Рейнольдса для стандартного трубчатого теплообменника и теплообменника с внедренной спиральной вставкой. Данные параметры были смо-

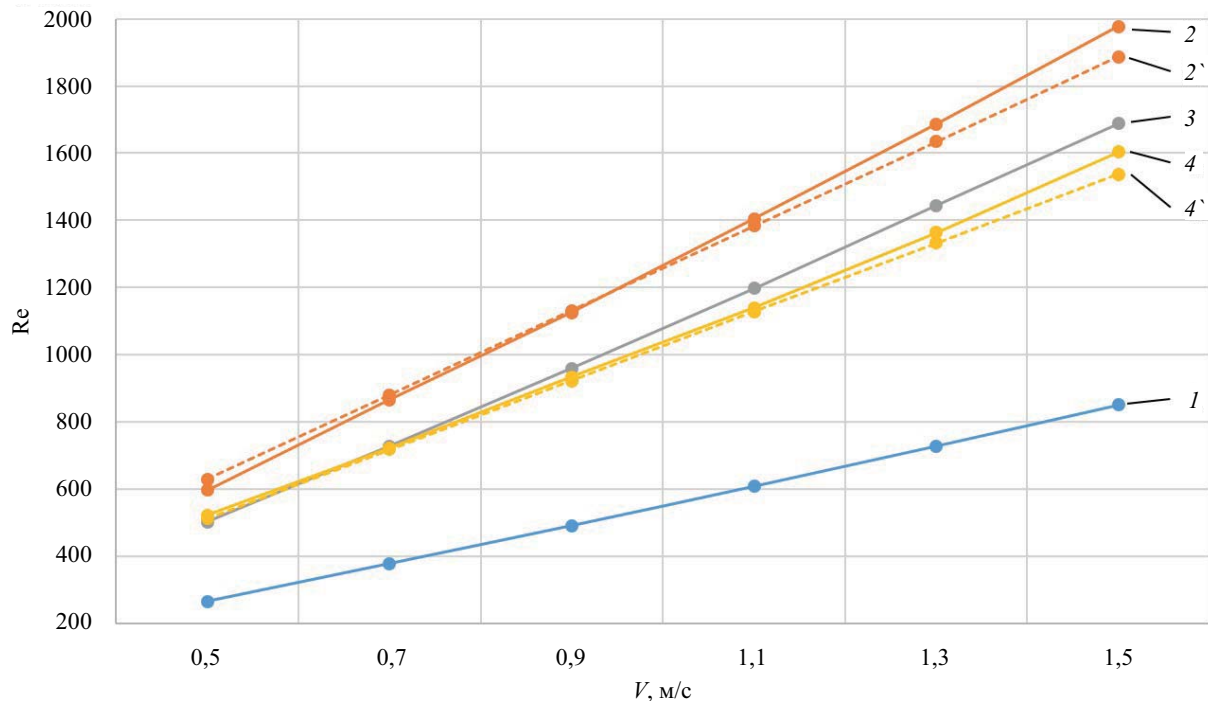


Рис. 5. Результаты теплотехнических испытаний: *1* — радиатора с вогнутыми пластинами; *2* — радиатора со спиральными вставками; *2'* — расчетные значения числа Re в секциях радиатора со спиральными вставками; *3* — радиатора с дисковыми вставками; *4* — стандартного радиатора; *4'* — расчетные значения числа Re в секциях стандартного радиатора

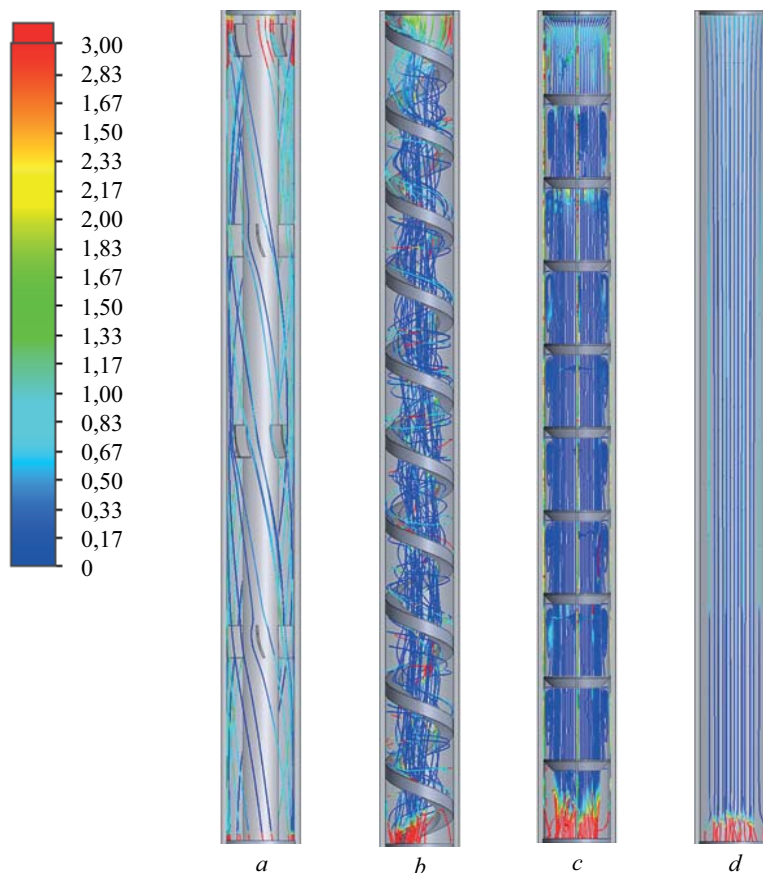


Рис. 6. Графическое распределение интенсивности турбулентности потока в сечениях: *a* — радиатора с вогнутыми пластинами; *b* — радиатора со спиральными вставками; *c* — радиатора с дисковыми вставками; *d* — стандартного радиатора

делированы с помощью вычислительных методов. Полученные расчетные величины показаны на рис. 5 в виде пунктирной линии.

Расчеты средней интенсивности турбулентности проводились на основании результатов моделирования потоков теплоносителя в специализированных пакетах компьютерной гидродинамики, таких как модуль Flow Simulation пакета SOLIDWORKS (рис. 6). Среднее значение абсолютной скорости вычислялось как интегральное по всему объему сечения трубки радиатора.

Полученные данные отображались графически в виде траекторий частиц теплоносителя, где каждый путь окрашен в зависимости от локальной интенсивности турбулентности. Цветовая палитра выбиралась так, чтобы наглядно отражать градации интенсивности, позволяя визуально оценить различия между различными конструкциями радиаторов.

В результате установлено, что интенсивность турбулентности самая низкая у серийного радиатора и составляет 2,5 %. Наивысшей степени турбулентности 5 % удалось добиться при использовании спиральных вставок в радиатор.

С целью подтверждения результатов компьютерного моделирования проведены сравнительные экспериментальные исследования радиатора со спи-

ральными вставками и серийного. Для этого в экспериментальную установку (рис. 7), спроектированную согласно ГОСТ Р 53583–2009, интегрированы указанные радиаторы. В качестве эталонного применялся серийный радиатор, в качестве исследуемого — радиатор со спиральными вставками.

Перед проведением экспериментальных исследований были изготовлены и вмонтированы спиральные турбулизаторы. Их внешний вид показан на рис. 8.

Эксперименты осуществлялись с использованием воды в качестве горячего теплоносителя и воздуха в качестве холодного. Во время экспериментов температура воды варьировалась от 50 до 85 °С. Воздух имел комнатную температуру около 20 °С. Планирование эксперимента коррелируется с температурными графиками источника тепловой энергии и потребителя для низкотемпературных систем теплоснабжения Белгородской области. Важным элементом лабораторной установки, представленной на рис. 7, является водогрейный электрический котел «РУСНИТ» (мощность 5 кВт), максимальная температура теплоносителя на выходе которого составляет 87 °С.

Следовательно, температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах, взятые при температуре наружного воздуха –17 °С, будут конечны-

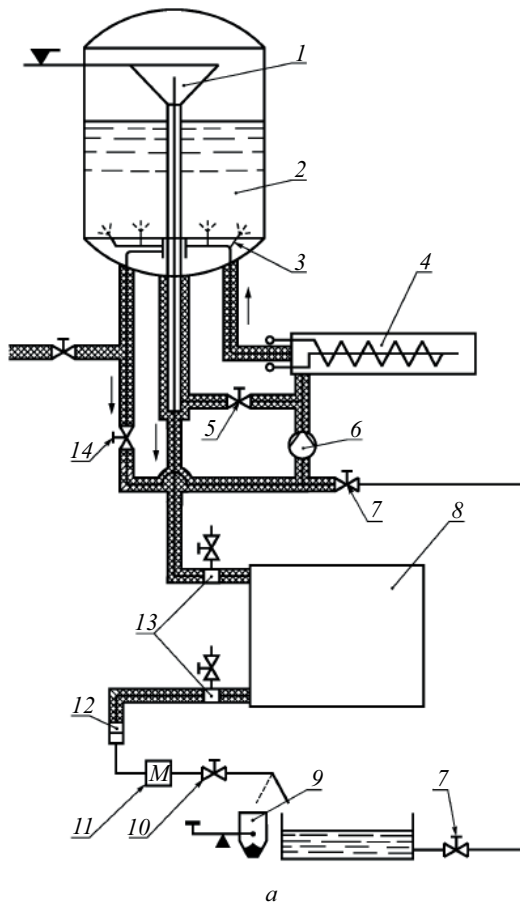


Рис. 7. Экспериментальная установка: *a* — схема; *b* — внешний вид; 1 — перелив; 2 — бак постоянного уровня; 3 — смешивающее устройство; 4 — электрический котел; 5 — клапан; 6 — циркуляционный насос; 7 — клапан; 8 — радиатор; 9 — измерительный сосуд; 10 — клапан; 11 — теплообменник для первичной подготовки воды; 12 — фильтр; 13 — устройство для измерения температуры; 14 — клапан



Рис. 8. Внешний вид турбулизаторов

ми в экспериментальных исследованиях (85, 64 °С). При выполнении серии экспериментов рассмотрены температуры теплоносителя при следующих температурах наружного воздуха, °С: -15, -10, -5, 0, +5, +8.

Результаты экспериментальных теплотехнических исследований двух радиаторов представлены в таблице.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 9.

Из графика видно, что отопительный прибор со спиральными вставками эффективнее серийного в среднем на 3 %. В результате исследований можно сделать вывод, что энергоэффективное оборудование меньше подвержено износу, следовательно, его срок службы увеличивается.

Температуры теплоносителя в греющем и нагреваемом контурах определялись с помощью тепловычислителя «Взлет ТСРВ-042» с датчиком температуры «Взлет ТПС Pt500 L70». Контрольные показания фиксировались после истечения 15 мин, т.е. во время установившегося режима. Относительная погрешность при измерении температуры составляет $\pm 0,2$ %.

Расход теплоносителя в обоих контурах устанавливался с помощью тепловычислителя «Взлет

Теплотехнические исследования

Параметр	Номер опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Температура наружного воздуха, °С	+8	+5	0	-5	-10	-15	-17
Температура в подающем трубопроводе греющего контура, °С	43	47,7	56,9	65,6	74,1	82,3	85,0
Расчетное значение среднего температурного напора, °С	3,54	4,94	6,57	8,9	9,9	10,8	12,43
Критерий Рейнольдса, Re	631	878	1112	1418	1694	1775	1983
Коэффициент теплопередачи серийного радиатора, Вт/(м ² ·°С)	1992	2203	2377	2643	2820	3054	3187
Коэффициент теплопередачи оригинального радиатора, Вт/(м ² ·°С)	2032	2234	2456	2687	2898	3066	3249
Расчетное значение коэффициента теплопередачи оригинального радиатора, Вт/(м ² ·°С)	2084	2303	2522	2743	2982	3194	3372
Расхождение экспериментальных и расчетных данных коэффициента теплопередачи для оригинального радиатора, %	2,6	3,1	2,7	2,1	2,9	4,2	3,8

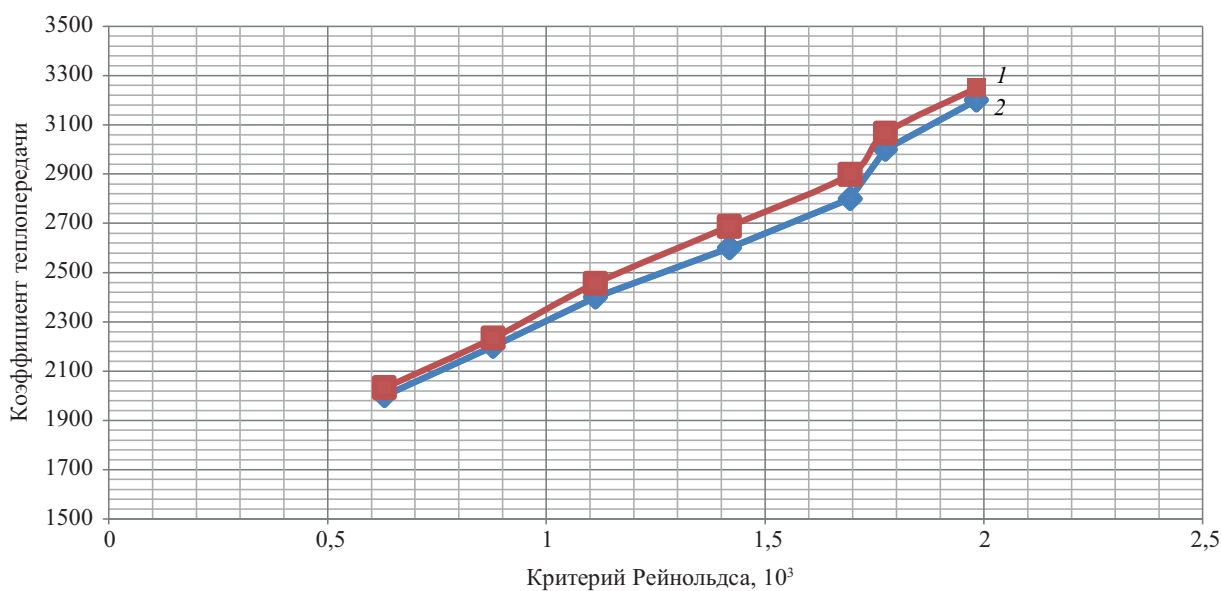


Рис. 9. Результаты экспериментальных исследований

ТСРВ-042» посредством электромагнитного расходомера-счетчика «Взлет ЭР ЛайтМ 440Л В» Ду 15 мм. Относительная погрешность электромагнитного расходомера-счетчика «Взлет ЭР ЛайтМ 440Л В» составляет ±0,5 %.

Финальным этапом исследования стала оценка влияния разработанной конструкции радиатора на жизненный цикл системы теплоснабжения. Благодаря высокому коэффициенту теплоотдачи улучшается энергоэффективность системы, сокращая потребление энергии и снижая эксплуатационные расходы. Повышенная надежность и долговечность конструкции уменьшают необходимость в ремонте и обслуживании, что дополнительно снижает затраты на про-

тяжении всего срока службы. В конечном итоге, такая конструкция способствует оптимизации работы системы теплоснабжения, повышению ее общей эффективности и продлению срока службы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка нового энергоэффективного теплообменного оборудования помогает сокращению объемов потребления тепловой энергии.

Сектор жилищного строительства испытывает значительные проблемы с потерей тепла, достигая высоких показателей потенциальной экономии тепловой энергии.

Повышение энергоэффективности жилых домов возможно за счет модернизации существующих систем отопления, что предпочтительнее полной реконструкции зданий.

Эффективность отопительного прибора напрямую зависит от коэффициента турбулизации, чем выше интенсивность турбулизации, тем выше эффективность.

Вследствие повышения эффективности работы отопительных приборов последует снижение стоимости и массогабаритных показателей.

Проведенные исследования показали прямую зависимость эффективности теплообмена от интен-

сивности турбулентности, причем введение специальных турбулизирующих вставок (например, спиральных элементов) позволяет увеличить среднюю интенсивность турбулентности почти вдвое по сравнению с традиционными моделями. Такой подход открывает перспективу дальнейшего совершенствования конструкций отопительных приборов, направленных на повышение их энергоэффективности и снижение эксплуатационных затрат.

Важно продолжать модернизацию существующих систем отопления для достижения большей энергоэффективности и снижения издержек.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Агафонов П.А.* Аудит состояния объектов системы централизованного теплоснабжения // Электротехнические станции. 2023. № 7 (1104). С. 14–25. DOI: 10.34831/EP.2023.1104.7.003. EDN TYREET.
2. *Семикашиев В.В.* Теплоснабжение в России: текущая ситуация и проблемы инвестиционного развития // ЭКО. 2019. № 9 (543). С. 23–47. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2019-9-23-47. EDN ATVUQK.
3. *Башмаков И.А.* Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения России // Новости теплоснабжения. 2008. № 2 (90). С. 6–9.
4. *Ибрагимова К.Т., Султан А.Н.* Современные тенденции реконструкции городской жилой среды с малоэтажными многоквартирными жилыми домами (жилая застройка) // Интернаука. 2023. № 16–1 (286). С. 11–14. EDN GZPJEW.
5. *Захарова Е.А., Захаров М.В., Зюзин В.А.* Реконструкция существующих жилых домов первых массовых серий с применением новых методов строительства // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2005. № 3–4. С. 23–27. EDN KZJQDB.
6. *Примак И.И.* Рекомендации по проведению мероприятий при реконструкции и модернизации индивидуальных тепловых пунктов жилых домов вторичного жилого фонда // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 10–2 (17). С. 74–75. EDN RJZBRF.
7. *Букин С.Н.* Особенности зонирования жилого фонда многоквартирных жилых домов Пензенской области по степени урбанизации и социально-экономического развития // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2017. № 8–1 (55). С. 9–12. EDN ZEIVRT.
8. *Меццержакова М.А., Боголепова В.Ю., Арников А.Е.* Повышение энергоэффективности системы отопления в жилых домах за счет внедрения инновационных систем // Строительство и недвижимость. 2024. № 2 (15). С. 45–50. EDN FYNWSC.
9. *Бодров М.В., Кузин В.Ю., Юланова А.Ф., Прыткова Е.М.* О влиянии методов снижения теплопотребления систем обеспечения параметров микроклимата на характеристики систем отопления жилых домов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2021. № 11 (239). С. 50–53. EDN FSCGHH.
10. *Zhilin E.V., Prasol D.A., Savvin N.Y.* Optimization of the structure of filter-compensating devices in networks with powerful non-linear power consumers based on fuzzy logic // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2022. Vol. 12. Issue 6. P. 5730. DOI: 10.11591/ijece.v12i6.pp5730-5737
11. *Kushchev L.A., Melkumov V.N., Savvin N.Yu., Chuiko V.V.* Simulation of heat Carrier Motion in Tubular Heating Radiators // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2023. No. 2 (58). Pp. 25–33. DOI: 10.36622/VSTU.2023.2.58.003. EDN JMNJIP.
12. *Таймасов С.Р.* Система поквартирного отопления жилого дома // Научный аспект. 2022. Т. 14. № 6. С. 1798–1802. EDN JVETOQ.
13. *Крупнов Б.А., Крупнов Д.Б.* К выбору системы водяного отопления в многоэтажных жилых домах // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2015. № 7 (163). С. 31–33. EDN XCOEKL.
14. *Абдуханова Н.Г., Рахимова И.Р.* Обоснование применения альтернативных систем отопления в многоэтажном жилом доме // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2024. № 8. С. 3–7. EDN INIQWS.
15. *Самаров Е.В.* Энергоэффективные системы отопления и вентиляции современного жилого дома // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2023. № 1 (253). С. 100–101. EDN DSPUPT.
16. *Хисамиев Б.Р., Даминов Р.Р., Хуснутдинова А.Р., Зиганшин М.Г.* Цифровая информационная модель десятиэтажного жилого дома в качестве основы цифрового двойника здания в части системы отопления // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2023. № 6–2 (67). С. 77–80. EDN YIZDKB.
17. *Поляков С.И., Акимов В.И., Полуказаков А.В.* Моделирование системы управления отоплением «умного» жилого дома // Моделирование систем и процессов. 2020. Т. 13. № 1. С. 68–76. DOI: 10.12737/2219-0767-2020-13-1-68-76. EDN IYJUED.

18. Volkova V.N., Loginova A.V., Desyatirikova E.N., Belousov V.E., Chuginov V.V. Simulation Modeling of a Technological Breakthrough in the Economy // 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus). 2018. Pp. 1293–1297. DOI: 10.1109/EIConRus.2018.8317332. EDN YBVXCP.
19. Брух С.В. Реконструкция инженерных систем существующих жилых зданий в Германии // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2022. № 7 (247). С. 38–42. EDN NYUKPT.
20. Саввин Н.Ю. Моделирование теплообменного процесса в оригинальном пластинчатом теплообменнике // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2023. № 2 (25). С. 37–46. DOI: 10.36622/VSTU.2023.41.58.004. EDN YFCIPW.
21. Нацокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача : учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Высшая школа, 1975. 497 с.
22. 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. Pp. 123–138. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.04.017
23. Kang C., Yang K.S. Characterization of turbulent heat transfer in ribbed pipe flow // Journal of Heat Transfer. 2016. Vol. 138. Issue 4. DOI: 10.1115/1.4032150
24. Song K., Wang L., Hu Y., Liu Q. Flow Symmetry and Heat Transfer Characteristics of Winglet Vortex Generators Arranged in Common Flow up Configuration // Symmetry. 2020. Vol. 12. Issue 2. P. 247. DOI: 10.3390/sym12020247
25. Luo C., Wu S., Song K., Hua L., Wang L. Thermo-hydraulic performance optimization of wavy fin heat exchanger by combining delta winglet vortex generators // Applied Thermal Engineering. 2019. Vol. 163. P. 114343. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114343
26. Yuan W., Fang G., Zhang X., Tang Y., Wan Z., Zhang S. Heat transfer and friction characteristics of turbulent flow through a circular tube with ball turbulators // Applied Sciences. 2018. Vol. 8. Issue 5. P. 776. DOI: 10.3390/app8050776
27. 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. Issue 1. Pp. 1–21. DOI: 10.1016/j.bjbas.2017.10.001
28. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М. : Наука, 1982. 472 с.
29. Белозерцев В.Н., Бирюк В.В., Довгялло А.И., Некрасова С.О., Уланов Д.А., Сармин Д.В. Интенсификация теплообмена : учебное пособие. Самара : Изд-во Самарского университета, 2018. 208 с.
30. Якишин С.С., Саввин Н.Ю., Куцев Л.А. Современные способы повышения эффективности работы отопительных приборов в ЖКХ // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых : сб. науч. ст. Всеросс. науч. конф. перспективных разработок. 2020. С. 304–307. EDN IWPEQN.
31. Патент RU № 149737 МПК F28D 7/00. Кожухотрубный теплообменный аппарат / Никулин Н.Ю., Куцев Л.А., Сулов Д.Ю., Уваров В.А. и др.; заявит. и патентообл. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; заявл. № 2014134083/06 от 19.08.14. Оpubл. 20.01.15. Бюл. № 2. 3 с.
32. Патент RU № 199344 МПК F28F 3/00. Пластина теплообменника / Куцев Л.А., Саввин Н.Ю., Феоктистов А.Ю. и др.; заявит. и патентообл. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; заявл. № 2020114112 от 03.04.2020. Оpubл. 28.08.2020. Бюл. № 25. 5 с.
33. Патент RU № 211314 МПК F24D 3/06. Трубчатый радиатор отопления / Куцев Л.А., Чуйко В.В., Уваров В.А., Саввин Н.Ю., Булгаков С.Б., Алифанова А.И., Архитова Н.А.; заявит. и патентообл. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; заявл. № 2022105089 от 25.02.2022. Оpubл. 31.05.2022. Бюл. № 16. 8 с.
34. Патент RU № 212260 МПК F24H 3/06. Трубчатый радиатор отопления / Куцев Л.А., Чуйко В.В., Уваров В.А., Саввин Н.Ю., Булгаков С.Б., Алифанова А.И.; заявит. и патентообл. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; заявл. № 2022109028 от 05.04.2022. Оpubл. 13.07.2022. Бюл. № 20. 7 с.
35. Патент RU № 212261 МПК F24H 3/08. Трубчатый радиатор отопления / Куцев Л.А., Чуйко В.В., Уваров В.А., Саввин Н.Ю., Булгаков С.Б., Феоктистов А.Ю.; заявит. и патентообл. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; заявл. № 2022111379 от 24.04.2022. Оpubл. 13.07.2022. Бюл. № 20. 5 с.

Поступила в редакцию 4 апреля 2025 г.

Принята в доработанном виде 2 сентября 2025 г.

Одобрена для публикации 1 октября 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: **Никита Юрьевич Саввин** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)**; 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46; РИНЦ ID: 1108836, Scopus: 57219992792, ResearcherID: AAR-3129-2021, ORCID: 0000-0001-6379-6825; rector@intbel.ru;

Татьяна Николаевна Ильина — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)**; 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46; РИНЦ ID: 440992, ORCID: 0000-0001-8677-256X; rector@intbel.ru;

Руслан Валерьевич Лесовик — доктор технических наук, профессор, проректор по международной деятельности; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)**; 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46; РИНЦ ID: 367491, ORCID: 0000-0001-5707-1289; rector@intbel.ru;

Валерия Валерьевна Строкова — член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор РАН, заведующая кафедрой материаловедения и технологии материалов; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)**; 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46; ORCID: 0000-0001-6895-4511; vvstrokova@gmail.ru.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

INTRODUCTION

In recent decades, Russia and a number of other industrially developed countries have seen a steady trend towards a reduction in thermal energy consumption. This paper examines the problem of significant heat losses in Russia, caused by the transition of industrial enterprises to autonomous heat supply and the improvement of equipment energy efficiency. Nevertheless, as a result of the economic reforms of the early 1990s, this problem has become critical. Scientific studies demonstrate that heat losses during transmission have increased by almost 2.5 times, which has had an immediate impact on tariff policy for end users. The main cause of such a sharp rise in losses was the unsatisfactory technical condition of the utility networks, characterized by a high level of physical wear and tear¹ [1, 2].

The issue of heat supply requires urgent measures to improve the efficiency of the entire system. Heat losses lead not only to rising tariffs but also to a deterioration in the quality of services provided, which negatively affects residents' comfort levels. This is particularly acute in the housing construction sector, as the potential for energy savings over the course of a year approaches 400 million Gcal [3].

According to the conclusions presented by the authors of the study [4], increasing the energy efficiency of new construction projects has a negligible impact on the cost of development. From a practical perspective, the modernization of existing heating systems in residential buildings by replacing obsolete equipment appears to be a more economically viable and rapid alternative to the complete renovation of the housing stock. This method allows for a significant reduction in costs and time, making it the preferred choice for most utility companies and management organizations [5–7].

The study [8] analyses approaches to improving the energy efficiency of heating systems in both existing

and planned residential buildings using advanced technological solutions. The results demonstrate that comprehensive modernization of heating systems can improve their efficiency.

A comparative analysis of the percentage reduction in specific heat energy consumption has been carried out [9]. The results presented include calculations of the characteristics of a multi-storey building's heating system. Similar studies are cited in [10, 11].

The available types of residential heating systems are examined [12]. It has been established that, thanks to independent regulation of the heat supply, savings on utility bills average between 20 and 30 %. Confirmation of this research is also published in [13].

The issue of estimating the costs of constructing heating networks has been examined, and a comparative analysis of utility bills under various heat supply methods has been carried out [14]. It has been found that centralized heat supply systems prove to be more expensive for residents.

Currently, there is a growing trend towards the implementation of energy-efficient smart heat supply systems [15]. It is well known that the most critical stage in the development of such systems, as with all types of heating systems in general, is the modelling process. A series of publications [16–18] examines the creation of a digital twin for a residential building's heating system with the aim of improving the efficiency of thermal energy management. The use of the modelling process makes it possible not only to save energy resources but also to optimize responses in abnormal situations, including emergency modes.

Of particular interest is the study [19], specifically the conclusions highlighting the importance of introducing new heating appliance designs during the renovation phase. The development of new heating appliance designs remains a pressing task to this day. Modern energy efficiency requirements dictate the need to create devices with improved technical characteristics, such as high heat output, durability and ease of installation. Solving this problem requires the combined efforts of leading

¹ Heat Supply to Settlements, Federal State Statistics Service. 2022. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/jkh3.docx>

engineers and scientists capable of proposing innovative technical solutions that can meet society’s growing demand for high-quality and affordable thermal energy [20]. Computer modelling is a popular and cost-effective method for analyzing the efficiency of heating systems. Its widespread use is due to significantly lower costs compared to real-world experimental studies, as physical testing requires the construction of equipment prototypes. Among engineering software, we would like to draw particular attention to the SOLIDWORKS design system. This software meets all the requirements set by the authors, namely, it allows for the modelling of heat transfer fluid flow within a specific velocity range.

The aim of the study is to examine various original designs of heating appliances and compare the results with mass-produced equipment. This will help to better understand how such devices work and improve their design to achieve maximum efficiency.

MATERIALS AND METHODS

The nature of fluid flow has a significant influence on the efficiency of heat transfer processes. In the vast majority of heating appliances, laminar flow is observed; therefore, the amount of thermal energy transferred to the room depends on the type of heat transfer fluid, its properties, and the design features of the heating equipment [21].

The assessment of heat transfer efficiency in tubular and duct systems is traditionally carried out using the

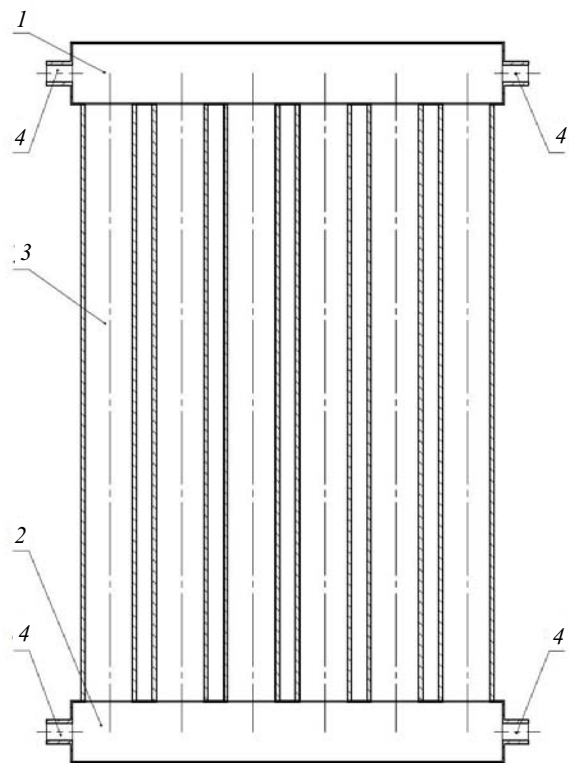


Fig. 1. Standard heating radiator: 1, 2 — collectors; 3 — section; 4 — coupling

heat transfer coefficient. It has been established that the Nusselt number increases in proportion to the in-

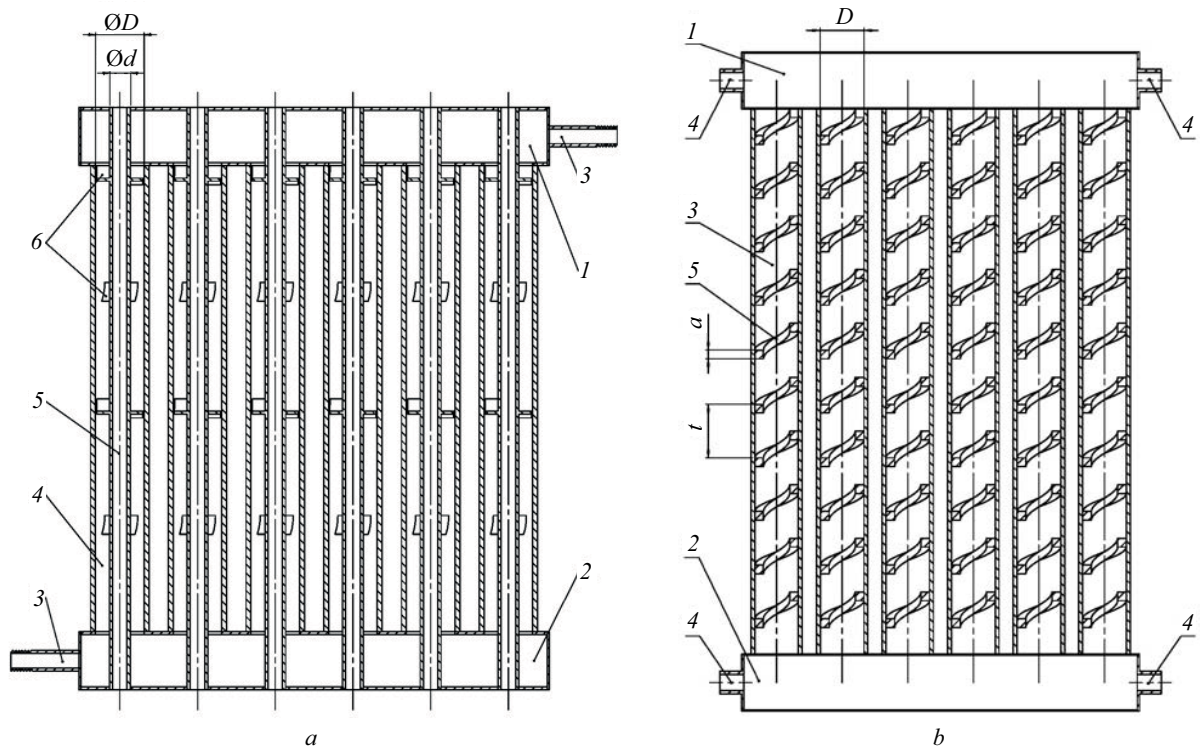


Fig. 2. Drawings of the original radiators: a — radiator design with concave plates: 1, 2 — manifolds; 3 — section; 4 — outlet; 5 — inner pipe; 6 — turbulator; b — radiator design with spiral inserts: 1, 2 — manifolds; 3 — section; 4 — coupling; 5 — inner pipe

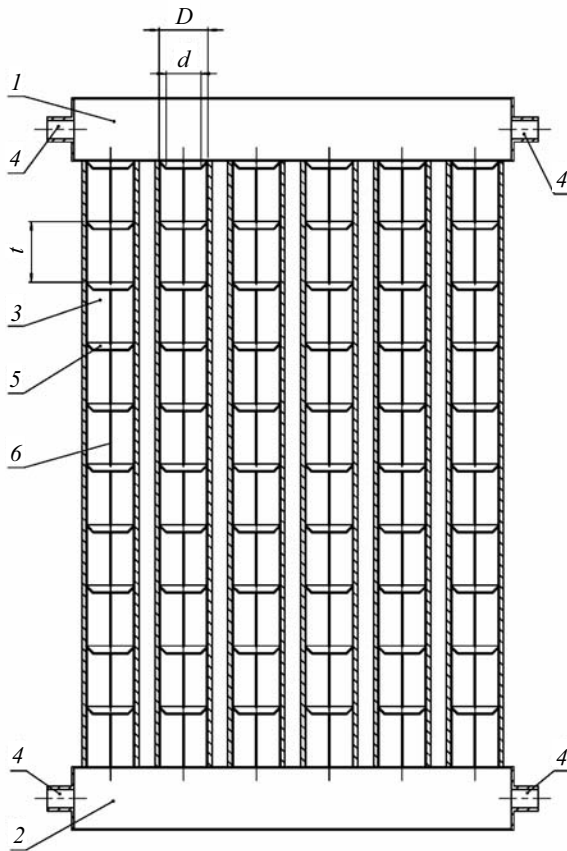


Fig. 3. Drawing of a radiator with disc inserts: 1, 2 — collectors; 3 — section; 4 — coupling; 5 — insert; 6 — axis

crease in the Reynolds number, indicating an increase in the heat transfer coefficient with an increase in the Reynolds number [22, 23].

Research by international experts [24–26] demonstrates that finning, the use of rough surfaces, and inserts of

various geometric shapes help to increase the degree of flow turbulence and, consequently, improve heat transfer efficiency. In other words, the main objective of all research is to develop heating appliance designs that combine an optimal balance between mass-to-volume ratios and the heat transfer coefficient — the primary indicator characterizing the efficiency of a heating appliance [27].

All methods of influencing the heat transfer fluid flow can be divided into two broad categories: active and passive [28].

The essence of active methods lies in influencing the equipment rather than the flow. By “influence” is meant the generation of vibrations, magnetic fields or acoustic fields [29].

Passive methods include those that directly influence the heat transfer fluid flow. To achieve this, the design of both the radiator and its channel is modified, i.e. inserts of various geometric shapes are installed. In the scientific literature, such inserts are referred to as turbulators [30, 31].

Thus, the selection of the optimal method for intensifying heat transfer must take into account the specifics of the particular system and the desired heat transfer parameters.

RESEARCH RESULTS

Multi-section radiators are traditionally used in heating systems. Their appearance and design are shown in Fig. 1.

This type of radiator has gained popularity due to the simplicity of its design and manufacture, as no specialized equipment is required. Because of this, the parameters (height, diameter, etc.) of the radiators can vary depending on technical specifications or customer requirements. An undeniable advantage is ease of maintenance, which is particularly important in dusty rooms and industrial settings. As for the drawbacks, the main one to note is the low degree of heat transfer fluid turbulence.

To address this issue, three original designs were developed based on a standard heating radiator [32–35]:

- a radiator with concave plates (Fig. 2, a) [33];
- with spiral inserts (Fig. 2, b) [34];
- with disc inserts (Fig. 3) [35].

It is important to note that the plates (see Fig. 2, a) are mounted at a specific angle to one another, forming rows. The distance between these rows is calculated in such a way as to ensure constant turbulence in the coolant flow, which promotes better heat exchange.

In radiators with disc inserts (Fig. 3), turbulators are positioned inside the vertical channel, providing additional surface area for heat exchange. This design enables the efficient transfer of thermal energy from the coolant to the surrounding environment.

Further research involves the creation of computer models of the channels in the original designs and a model of a standard heating appliance (Fig. 4), followed by an analysis of the results of the coolant flow simulation. This task was successfully accomplished using

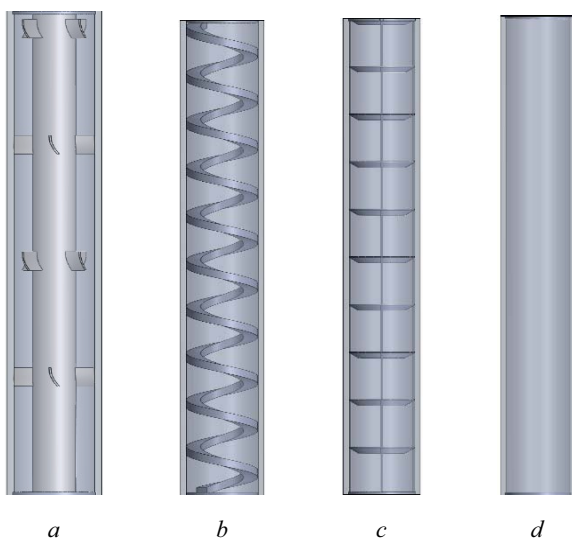


Fig. 4. Volumetric models of radiator sections: a — with concave plates; b — with spiral inserts; c — with disc inserts; d — standard radiator

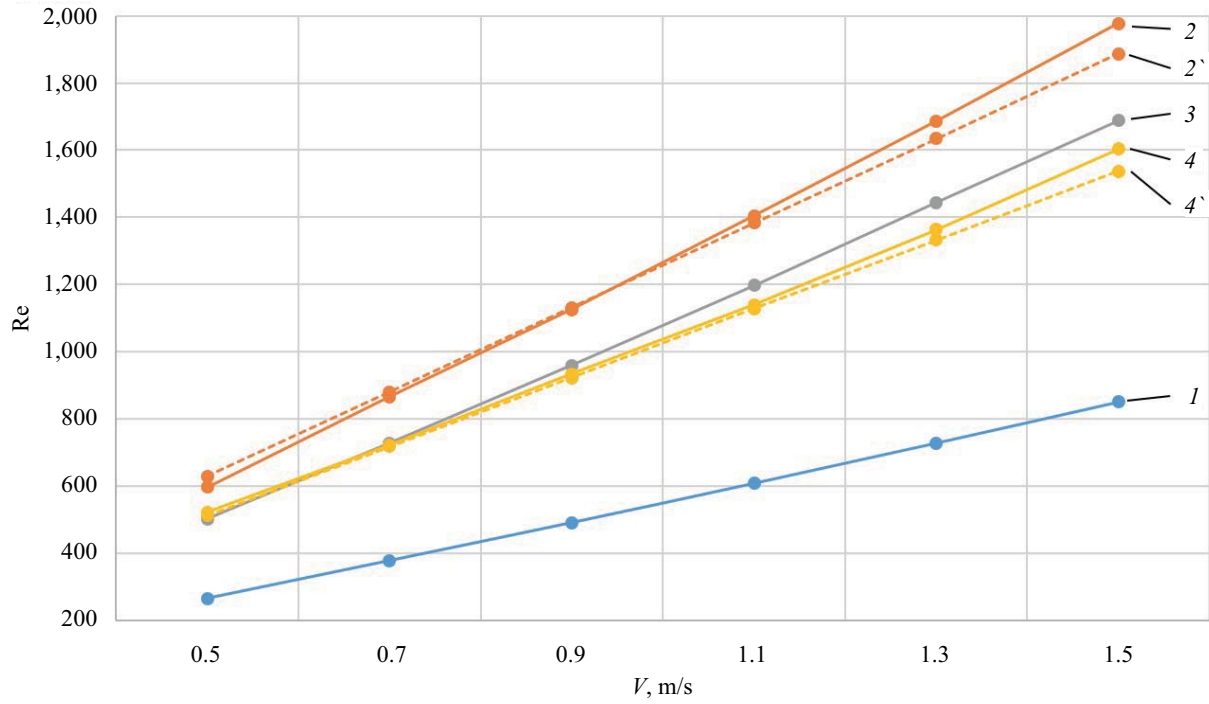


Fig. 5. Results of thermal tests: 1 — radiator with concave plates; 2 — radiator with spiral inserts; 2' — calculated values of the Reynolds number in the sections of the radiator with spiral inserts; 3 — radiator with disc inserts; 4 — standard radiator; 4' — calculated values of the Reynolds number in the sections of the standard radiator

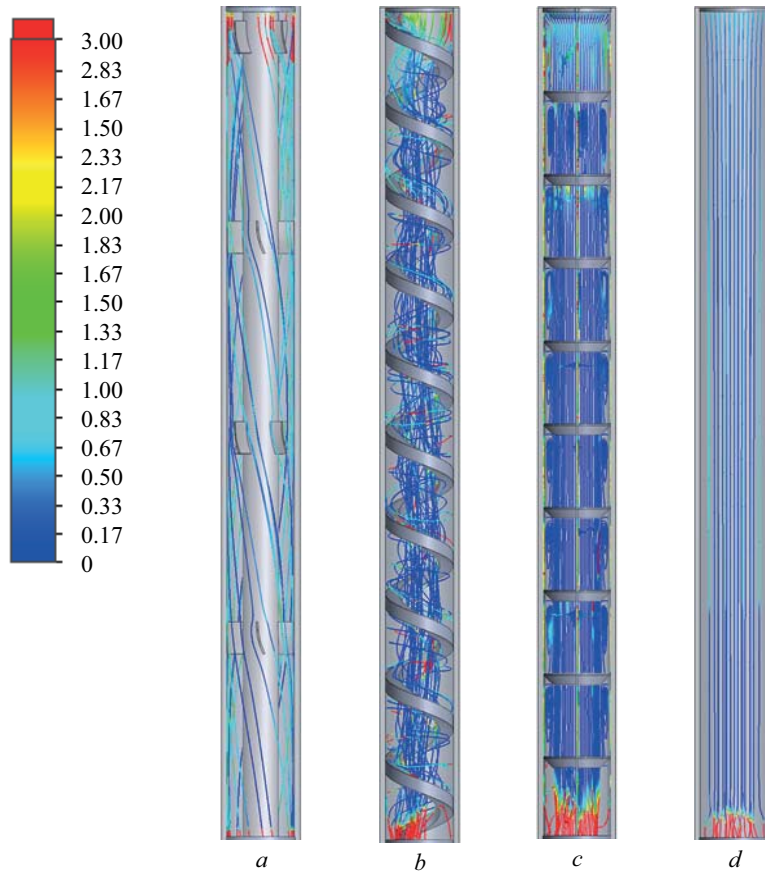


Fig. 6. Graphical distribution of flow turbulence intensity in sections: a — radiator with concave plates; b — radiator with spiral inserts; c — radiator with disc inserts; d — standard radiator

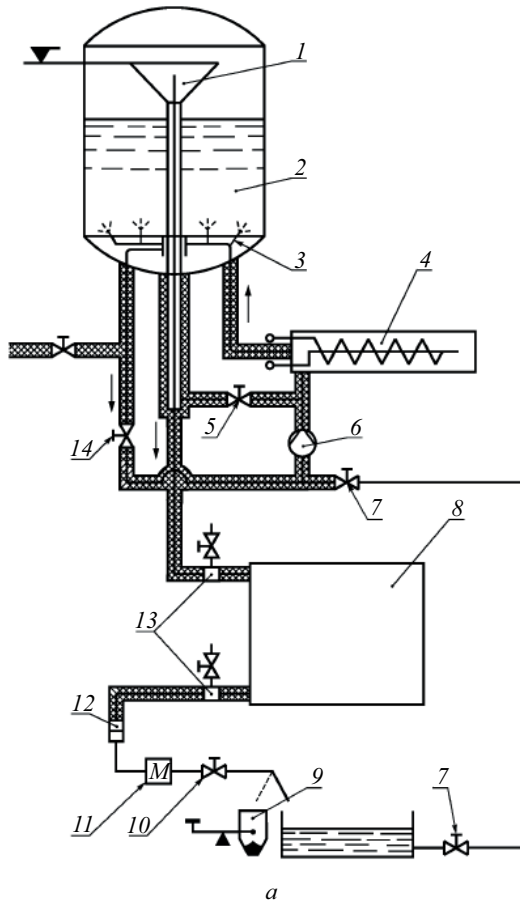


Fig. 7. Experimental setup: *a* — schematic diagram; *b* — external view; 1 — overflow; 2 — constant-level tank; 3 — mixing device; 4 — electric boiler; 5 — valve; 6 — circulation pump; 7 — valve; 8 — radiator; 9 — measuring vessel; 10 — valve; 11 — heat exchanger for primary water treatment; 12 — filter; 13 — temperature measuring device; 14 — valve



Fig. 8. External appearance of the turbulators

the SOLIDWORKS suite, as it is a powerful 3D modelling tool widely used by engineers and designers to create high-precision digital prototypes of products. When it comes to modelling heat transfer fluid flows in heating radiator channels, SOLIDWORKS offers numerous advantages that make it the ideal choice for such tasks. Choosing this software allows engineers to create accurate digital prototypes, carry out comprehensive calculations and optimize radiator designs, leading to improved efficiency and durability.

Determining the numerical value of the turbulence coefficient involves simulating the flow of the coolant at various speeds.

The Reynolds number was determined at coolant velocities ranging from 0.5 to 1.5 m/s for all types of structures, respectively. The results are shown in Fig. 5.

The results show that the dependencies increase linearly with increasing coolant velocity. The higher the velocity, the greater the efficiency. Furthermore, as the velocity increases, the gap between the original equipment and the standard version widens. Thus, at a velocity of 0.5 m/s, the difference in Re numbers is 3, whilst at a velocity of 1.5 m/s, the Re number is on average 850 higher. Peak Re values and the maximum rate of their increase are recorded as the velocity increases during simulation

Thermal engineering studies

Parameter	Experiment number						
	1	2	3	4	5	6	7
Outdoor air temperature, °C	+8	+5	0	-5	-10	-15	-17
Temperature in the heating circuit supply pipe, °C	43	47.7	56.9	65.6	74.1	82.3	85.0
Calculated value of the mean temperature head, °C	3.54	4.94	6.57	8.9	9.9	10.8	12.43
Reynolds number, Re	631	878	1,112	1,418	1,694	1,775	1,983
Heat transfer coefficient of a standard radiator, W/(m ² ·°C)	1,992	2,203	2,377	2,643	2,820	3,054	3,187
Heat transfer coefficient of the original radiator, W/(m ² ·°C)	2,032	2,234	2,456	2,687	2,898	3,066	3,249
Calculated heat transfer coefficient of the original radiator, W/(m ² ·°C)	2,084	2,303	2,522	2,743	2,982	3,194	3,372
Discrepancy between experimental and calculated heat transfer coefficient data for the original radiator, %	2.6	3.1	2.7	2.1	2.9	4.2	3.8

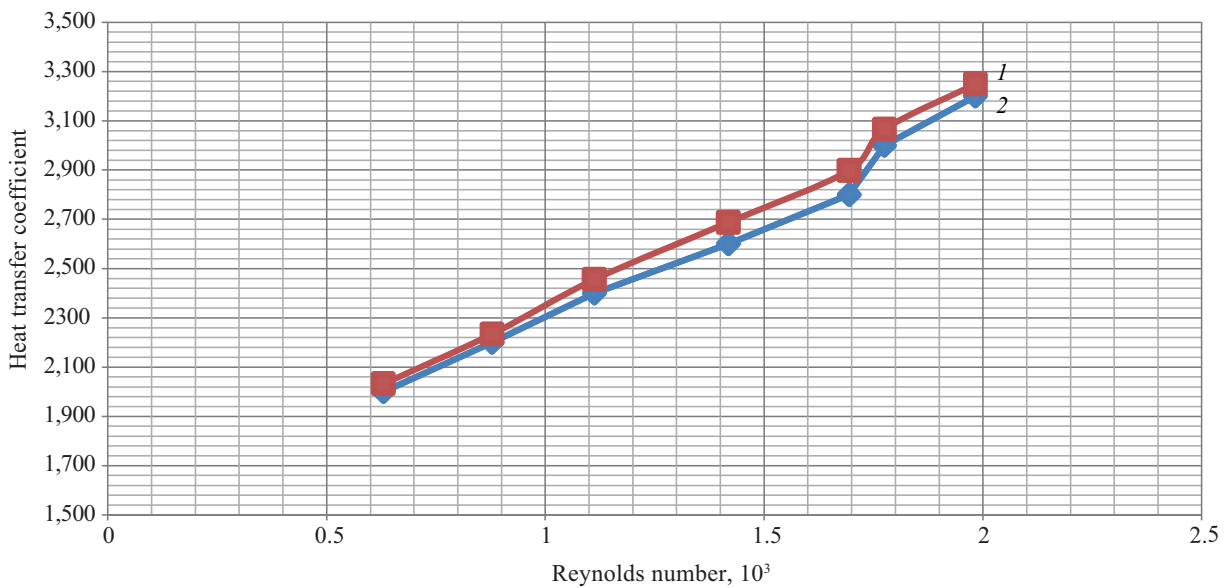


Fig. 9. Results of experimental studies

experiments on the flow in a section equipped with spiral components.

To verify the accuracy of the obtained data, a comparative analysis of the Reynolds number values was performed for a standard tubular heat exchanger and a heat exchanger with an integrated spiral insert. These parameters were modelled using computational methods. The calculated values are shown in Fig. 5 as a dotted line.

Calculations of the average turbulence intensity were carried out based on the results of heat transfer fluid flow simulations in specialized computational fluid dynamics software packages, such as the Flow Simulation module of the SOLIDWORKS package (Fig. 6). The average absolute velocity was calculated as an integral over the entire cross-sectional volume of the radiator tube.

The data obtained were displayed graphically as heat transfer fluid particle trajectories, where each path is coloured according to the local turbulence intensity. The colour palette was selected to clearly reflect the gra-

dations in intensity, allowing for a visual assessment of the differences between various radiator designs.

The results showed that the turbulence intensity was lowest for the standard radiator, at 2.5 %. The highest turbulence intensity of 5 % was achieved by using spiral inserts in the radiator.

To confirm the results of the computer modelling, comparative experimental studies were conducted on the radiator with spiral inserts and the standard radiator. For this purpose, the specified radiators were integrated into the experimental setup (Fig. 7), designed in accordance with GOST R 53583–2009. The standard radiator was used as the reference, and the radiator with spiral inserts as the test specimen.

Prior to conducting the experimental studies, spiral turbulators were manufactured and installed. Their appearance is shown in Fig. 8.

The experiments were carried out using water as the hot heat transfer fluid and air as the cold heat transfer

fluid. During the experiments, the water temperature varied between 50 and 85 °C. The air was at room temperature, approximately 20 °C. The experimental design correlates with the temperature profiles of the heat source and the consumer for low-temperature heat supply systems in the Belgorod Region. An important component of the laboratory setup shown in Fig. 7 is the 'RUSNIT' electric water heater (5 kW), the maximum outlet temperature of which is 87 °C.

Consequently, the temperatures of the network water in the supply and return pipes, measured at an outside air temperature of -17 °C, will be the final values in the experimental studies (85, 64 °C). In a series of experiments, the heat transfer fluid temperatures were examined at the following outdoor air temperatures, °C: -15, -10, -5, 0, +5, +8.

The results of the experimental thermal studies of the two radiators are presented in the Table.

The results of the experimental studies are shown in Fig. 9.

The graph shows that the heating unit with spiral inserts is on average 3 % more efficient than the standard model. The results of the studies suggest that energy-efficient equipment is less prone to wear and tear, and consequently has a longer service life.

The temperatures of the heat transfer fluid in the heating and heated circuits were determined using the "Vzlet TSRV-042" heat calculator with the "Vzlet TPS Pt500 L70" temperature sensor. Reference readings were recorded after 15 minutes, i.e. during steady-state operation. The relative error in temperature measurement is ± 0.2 %.

The heat transfer fluid flow rate in both circuits was determined using the "Vzlet TSRV-042" heat calculator via the "Vzlet ER LightM 440L V" electromagnetic flow meter (nominal diameter 15 mm). The relative error of the "Vzlet ER LightM 440L V" electromagnetic flow meter is ± 0.5 %.

The final stage of the research involved assessing the impact of the developed radiator design on the life

cycle of the heating system. Thanks to the high heat transfer coefficient, the system's energy efficiency is improved, reducing energy consumption and lowering operating costs. The increased reliability and durability of the design reduce the need for repairs and maintenance, which further lowers costs throughout the entire service life. Ultimately, this design contributes to the optimization of the heating system's operation, improves its overall efficiency and extends its service life.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The development of new energy-efficient heat exchange equipment helps to reduce heat energy consumption.

The residential construction sector faces significant heat loss issues, offering high potential for thermal energy savings.

Improving the energy efficiency of residential buildings is possible through the modernization of existing heating systems, which is preferable to the complete renovation of buildings.

The efficiency of a heating appliance depends directly on the turbulence coefficient; the higher the turbulence intensity, the higher the efficiency.

As the efficiency of heating appliances improves, their cost and physical dimensions will decrease.

Research has shown a direct correlation between heat transfer efficiency and turbulence intensity, with the introduction of special turbulence-inducing inserts (such as spiral elements) enabling the average turbulence intensity to be almost doubled compared to traditional models. This approach opens up prospects for further improvements to the design of heating appliances, aimed at increasing their energy efficiency and reducing operating costs.

It is important to continue modernizing existing heating systems to achieve greater energy efficiency and reduce costs.

REFERENCES

1. Agafonov P.A. Audit of the condition of objects of the district heating system. *Electrical Stations*. 2023; 7(1104):14-25. DOI: 10.34831/EP.2023.1104.7.003. EDN TYREET. (rus.).
2. Semikashev V.V. Heat supply in Russia: current state and problems of investment development. *ECO*. 2019; 9(543):23-47. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2019-9-23-47. EDN ATVUQK. (rus.).
3. Bashmakov I.A. *Analysis of the main trends in the development of heat supply systems in Russia*. Heat Supply News. 2008; 2(90):6-9. (rus.).
4. Ibragimova K., Sultan A.N. Modern trends in the reconstruction of the urban residential environment with low-storey apartment buildings (residential development). *Internauka*. 2023; 16-1(286):11-14. EDN GZPJEW. (rus.).
5. Zakharova E.A., Zakharov M.V., Zyuzin V.A. Reconstruction of existing residential buildings of the first mass series using new construction methods. Bulletin of the Oryol State Technical University. *Series: Construction and Transport*. 2005; 3-4:23-27. EDN KZJQDB. (rus.).
6. Primak I.I. Recommendations for activities at reconstruction and modernization of heating of apartment houses secondary housing stock. *International Research Journal*. 2013; 10-2(17):74-75. EDN RJZBRF. (rus.).
7. Bukin S.N. Features of zoning of the housing stock of apartment buildings in the Penza region by the degree of urbanization and socio-economic development. *Competitiveness in a global world: economics, science, technology*. 2017; 8-1(55):9-12. EDN ZEIVRT. (rus.).

8. Meshcheryakova M.A., Bogolepova V.Yu., Arnikov A.E. Improving the energy efficiency of the heating system in residential buildings through the introduction of innovative systems. *Construction and Real Estate*. 2024; 2(15):45-50. EDN FYNWYC. (rus.).
9. Bodrov M.V., Kuzin V.Yu., Yulanova A.I.F., Prytkova E.I.M. On the influence of methods of reducing heat consumption of systems of providing microclimate parameters on the characteristics of heating systems of residential buildings. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2021; 11(239):50-53. EDN FSCGHH. (rus.).
10. Zhilin E.V., Prasol D.A., Savvin N.Y. Optimization of the structure of filter-compensating devices in networks with powerful non-linear power consumers based on fuzzy logic. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2022; 12(6):5730. DOI: 10.11591/ijece.v12i6.pp5730-5737
11. Kushchev L.A., Melkumov V.N., Savvin N.Yu., Chuiko V.V. Simulation of heat Carrier Motion in Tubular Heating Radiators. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2023; 2(58):25-33. DOI: 10.36622/VSTU.2023.2.58.003. EDN JMNJIP.
12. Taimasov S.R. Apartment heating system of a residential building. *Scientific Aspect*. 2022; 14(6):1798-1802. EDN JVETOQ. (rus.).
13. Krupnov B.A., Krupnov D.B. On the choice of a water heating system in multi-storey residential buildings. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2015; 7(163):31-33. EDN XCOEKL. (rus.).
14. Abdukhanova N.G., Rakhimova I.R. Justification for use of alternative heating systems in a multi-storey residential building. *Competitiveness in a global world: economics, science, technology*. 2024; 8:3-7. EDN INIQWS. (rus.).
15. Samarov E.V. Energy-efficient heating and ventilation systems of a modern residential building. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2023; 1(253):100-101. EDN DSPUPT. (rus.).
16. Khisamiev B.R., Daminov R.R., Khusnutdinova A.R., Ziganshin M.G. Building information model of a ten-storey residential building as the basis of the digital twin of the building in terms of the heating system. *Natural and Technogenic Risks. Safety of Structures*. 2023; 6-2(67):77-80. EDN YIZDKB. (rus.).
17. Polyakov S.I., Akimov V., Polukazakov A. Simulation of the heating control system of a smart apartment building. *Modeling of Systems and Processes*. 2020; 13(1):68-76. DOI: 10.12737/2219-0767-2020-13-1-68-76. EDN IYJUED. (rus.).
18. Volkova V.N., Loginova A.V., Desyatirikova E.N., Belousov V.E., Chugunov V.V. Simulation Modeling of a Technological Breakthrough in the Economy. *2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus)*. 2018; 1293-1297. DOI: 10.1109/EIconRus.2018.8317332. EDN YBVXCP.
19. Bruch S.V. *Reconstruction of engineering systems of existing residential buildings in Germany*. Plumbing, Heating, Air-Conditioning. 2022; 7(247):38-42. EDN HYUKPT. (rus.).
20. Savvin N.Yu. Simulation of the heat exchange process in the original plate heat exchanger. *Housing and Utilities Infrastructure*. 2023; 2(25):37-46. DOI: 10.36622/VSTU.2023.41.58.004. EDN YFCIPW. (rus.).
21. Nashchokin V.V. *Technical thermodynamics and heat transfer : textbook. 2nd ed., revised and additional*. Moscow, Higher School, 1975; 497. (rus.).
22. 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; 118:123-138. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.04.017
23. Kang C., Yang K.S. Characterization of turbulent heat transfer in ribbed pipe flow. *Journal of Heat Transfer*. 2016; 138(4). DOI: 10.1115/1.4032150
24. Song K., Wang L., Hu Y., Liu Q. Flow Symmetry and Heat Transfer Characteristics of Winglet Vortex Generators Arranged in Common Flow up Configuration. *Symmetry*. 2020; 12(2):247. DOI: 10.3390/sym12020247
25. Luo C., Wu S., Song K., Hua L., Wang L. Thermo-hydraulic performance optimization of wavy fin heat exchanger by combining delta winglet vortex generators. *Applied Thermal Engineering*. 2019; 163:114343. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114343
26. Yuan W., Fang G., Zhang X., Tang Y., Wan Z., Zhang S. Heat transfer and friction characteristics of turbulent flow through a circular tube with ball turbulators. *Applied Sciences*. 2018; 8(5):776. DOI: 10.3390/app8050776
27. 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; 7(1):1-21. DOI: 10.1016/j.bjbas.2017.10.001
28. Zhukauskas A.A. *Convective transfer in heat exchangers*. Moscow, Nauka, 1982; 472. (rus.).
29. Belozertsev V.N., Biryuk V.V., Dovgyallo A.I., Nekrasova S.O., Uglanov D.A., Sarmin D.V. *Heat transfer intensification : textbook*. Samara, Publishing house of Samara University, 2018; 208. (rus.).
30. Kushchev L.A., Savvin N.Yu., Yakshin S.S. Modern methods for increasing the efficiency of heating devices in housing and communal services. *Innovative potential for the development of society: the view of young scientists : collection of scientific articles of the All-Russian scientific conference of advanced developments*. 2020; 304-307. EDN IWPEQN. (rus.).
31. Patent RU No. 149737 IPC F28D 7/00. *Shell-and-tube heat exchanger* / Nikulin N.Yu., Kush-

chev L.A., Suslov D.Yu., Uvarov V.A. et al.; declared and patented Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov; declared No. 2014134083/06 dated 19.08.14. Published 20.01.15. Bulletin No. 2; 3. (rus.).

32. Patent RU No. 199344 IPC F28F 3/00. *Heat exchanger plate* / Kushchev L.A., Savvin N.Yu., Feoktistov A.Yu. et al.; declared and patented Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov; declared No. 2020114112 dated 03.04.2020. Published 28.08.2020. Bulletin No. 25; 5. (rus.).

33. Patent RU No. 211314 IPC F24D 3/06. *Tubular heating radiator* / Kushchev L.A., Chuyko V.V., Uvarov V.A., Savvin N.Yu., Bulgakov S.B., Alifanova A.I., Arkhipova N.A.; declared and patented Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov; de-

clared No. 2022105089 from declared 25.02.2022. Published 31.05.2022. Bulletin No. 16; 8. (rus.).

34. Patent RU No. 212260 IPC F24H 3/06. *Tubular heating radiator* / Kushchev L.A., Chuyko V.V., Uvarov V.A., Savvin N.Yu., Bulgakov S.B., Alifanova A.I.; declared and patented Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov; declared No. 2022109028 dated 05.04.2022. Published 13.07.2022. Bulletin No. 20; 7. (rus.).

35. Patent RU No. 212261 IPC F24H 3/08. *Tubular heating radiator* / Kushchev L.A., Chuyko V.V., Uvarov V.A., Savvin N.Yu., Bulgakov S.B., Feoktistov A.Yu.; declared and patented Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov; declared No. 2022111379 dated 04/24/2022. Published 07/13/2022. Bulletin No. 20; 5. (rus.).

Received April 4, 2025.

Adopted in revised form on September 2, 2025.

Approved for publication on October 1, 2025.

B I O N O T E S : **Nikita Yu. Savvin** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat, Gas Supply and Ventilation; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; ID RSCI: 1108836, Scopus: 57219992792, ResearcherID: AAR-3129-2021, ORCID: 0000-0001-6379-6825; rector@intbel.ru;

Tatiana N. Ilyina — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; ID RSCI: 440992, ORCID: 0000-0001-8677-256X; rector@intbel.ru;

Ruslan V. Lesovik — Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for International Affairs; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; ID RSCI: 367491, ORCID: 0000-0001-5707-1289; rector@intbel.ru;

Valeria V. Stroková — Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Materials Science and Technology; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-6895-4511; vvstrokova@gmail.ru.

Authors' contributions: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare that they have no conflict of interest.