

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2026, Том 18, № 2 / 2026, Vol. 18, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2026.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/30SAVN226.pdf>

2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)

2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Феоктистов, А. Ю. Моделирование теплообмена в гладком отопительном регистре оригинальной конструкции / А. Ю. Феоктистов, А. В. Ткачев, С. В. Староверов, Н. Ю. Саввин, Ю. А. Феоктистов // Вестник евразийской науки. — 2026. — Т. 18. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/30SAVN226.pdf>.

**For citation:**

Feoktistov A.Yu., Tkachev A.V., Staroverov S.V., Savvin N.Yu., Feoktistov Yu.A. Modeling of heat exchange in a smooth heating register of an original design. *The Eurasian Scientific Journal*. 2026;18(2): 30SAVN226. Available at: <https://esj.today/PDF/30SAVN226.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 697.3:536.24:004.9

**Феоктистов Алексей Юрьевич**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия  
Доцент кафедры «Теплогасоснабжения и вентиляции»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: alexwolf79@mail.ru

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=214929](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=214929)

**Ткачев Александр Валерьевич**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия  
Аспирант кафедры «Теплогасоснабжения и вентиляции»

E-mail: alexwolf79@mail.ru

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1290954](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1290954)

**Староверов Сергей Владимирович**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия  
Доцент кафедры «Теплогасоснабжения и вентиляции»

Доцент технических наук, доцент

E-mail: polimark@rambler.ru

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=716168](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=716168)

**Саввин Никита Юрьевич**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия  
Доцент кафедры «Теплогасоснабжения и вентиляции»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: n-savvin@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6379-6825>

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1108836](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1108836)

**Феоктистов Юрий Александрович**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия  
Доцент кафедры «Высшей математики»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: alexwolf79@mail.ru

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=461006](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=461006)

**Моделирование теплообмена в гладком  
отопительном регистре оригинальной конструкции**

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности работы отопительных систем жилых и общественных зданий за счёт оптимизации процессов теплообмена в гладкотрубных отопительных регистрах. Отмечается, что радиатор является ключевым элементом системы отопления, определяющим общий тепловой эффект, а его внутренние геометрические особенности существенно влияют на теплоотдачу. Актуальность исследования обусловлена необходимостью снижения энергозатрат и повышения энергоэффективности современных инженерных систем. Целью настоящей работы является разработка и апробация адекватной компьютерной модели процесса теплообмена в гладких отопительных регистрах с учётом влияния турбулизирующих вставок на интенсивность теплопередачи. В исследовании использованы методы вычислительной гидродинамики, реализованные в программном комплексе SolidWorks с модулем Flow Simulation. Проведён анализ отечественной и зарубежной литературы по вопросам моделирования тепловых процессов, рассмотрены классические и современные подходы к расчёту коэффициентов теплоотдачи, а также особенности учёта турбулентности и радиационного теплообмена. В рамках работы спроектирована оригинальная конструкция гладкого отопительного регистра с турбулизирующими элементами, обеспечивающими интенсификацию теплообмена. Выполнено трёхмерное моделирование канала регистра, определены начальные и граничные условия, включая параметры теплоносителя, температурные режимы и физические свойства среды. Особое внимание уделено анализу числа Рейнольдса как основного критерия, определяющего характер течения и интенсивность теплообмена. Рассчитаны зависимости коэффициента теплоотдачи и интенсивности турбулентности от скорости потока теплоносителя. Результаты моделирования показали, что применение турбулизирующих вставок позволяет увеличить эффективность работы гладкого отопительного регистра в среднем на 26 % по сравнению с серийными аналогами. Установлено, что увеличение турбулизации потока приводит к росту коэффициента теплоотдачи, что способствует снижению габаритных размеров и стоимости отопительного оборудования при сохранении требуемой тепловой мощности. Разработанная конструкция и методика моделирования могут быть использованы для оптимизации проектирования отопительных систем промышленных и гражданских зданий, что обеспечивает снижение экономических издержек на отопление и способствует повышению энергоэффективности.

**Ключевые слова:** отопительный регистр; теплообмен; компьютерное моделирование; турбулизирующая вставка; коэффициент теплоотдачи; CFD-моделирование; энергоэффективность

## Введение

Наиболее затратная инженерная система любого здания — отопление. Как известно, системы отопления переносят тепло с помощью теплоносителя (горячей воды или пара) по замкнутым контурам и передают его в помещение через нагревательные поверхности (радиаторы, конвекторы или теплые полы) за счет сочетания конвекции и излучения. Таким образом, радиатор, являясь конечным элементом системы отопления, играет решающую роль в определении общего теплового эффекта системы. На этот фактор влияют его характеристики, в том числе площадь нагрева и условия эксплуатации. Следовательно, внутренние геометрические особенности существенно влияют на теплоотдачу радиаторов [1; 2].

Эффективность современных систем отопления жилых зданий и общественных сооружений во многом определяется качеством проектирования и оптимизации процессов передачи тепла. Одним из наиболее распространённых и востребованных видов отопительного оборудования являются гладкотрубные регистры, широко применяемые благодаря простоте конструкции, надёжности и экономичности. Данная работа является продолжением исследований, проведенных аналогичным авторским коллективом, рассмотренных в [3].

Процесс теплообмена в гладких регистрах представляет собой сложную многоуровневую систему физических явлений, включающую конвективный теплообмен, теплопроводность материала трубопровода и излучательную составляющую. Правильное понимание механизмов теплообмена позволяет повысить энергоэффективность системы отопления, снизить затраты энергии и обеспечить комфортные температурные условия помещений [4–6].

Цель настоящей статьи заключается в исследовании и построении адекватной компьютерной модели процесса теплообмена в гладких отопительных регистрах.

### Методы

Вопросы моделирования тепловых процессов в системах отопления активно исследуются отечественными и зарубежными учёными начиная с середины XX века. Первые фундаментальные работы в этой области принадлежат классикам отечественной теплотехники, таким как академики Нуссельт, Кирпичев, Кутателадзе, а также зарубежные исследователи Рейнольдс, Карман, Хауэлл и др., заложившие основу теории конвективного теплообмена и теплопередачи в инженерных системах [7–10].

Современные подходы к исследованию теплового режима гладкотрубных регистров базируются преимущественно на методах вычислительной гидродинамики (CFD-моделировании), позволяющих детально анализировать распределение температуры, скорости потоков теплоносителя и воздуха, коэффициентов теплоотдачи и сопротивления. Среди отечественных исследователей значительный вклад внесли труды В.А. Сучилина, В.В. Кузина, С.А. Гузенко, Е.К. Ткаченко и др., посвящённые разработке методов расчёта и оптимизации теплообменников и отопительных приборов [11–15].

Значительное внимание уделяется учётным особенностям турбулентного течения жидкости и газа в каналах регистра, поскольку именно турбулентность существенно влияет на интенсивность теплоотдачи. Классическими работами в этой области стали публикации Д.И. Мокшина, К.М. Плотниковой, У.Х. Ибрагимова, предложивших эффективные методики расчёта локального и среднего коэффициентов теплоотдачи в условиях развитой турбулентности [16–18].

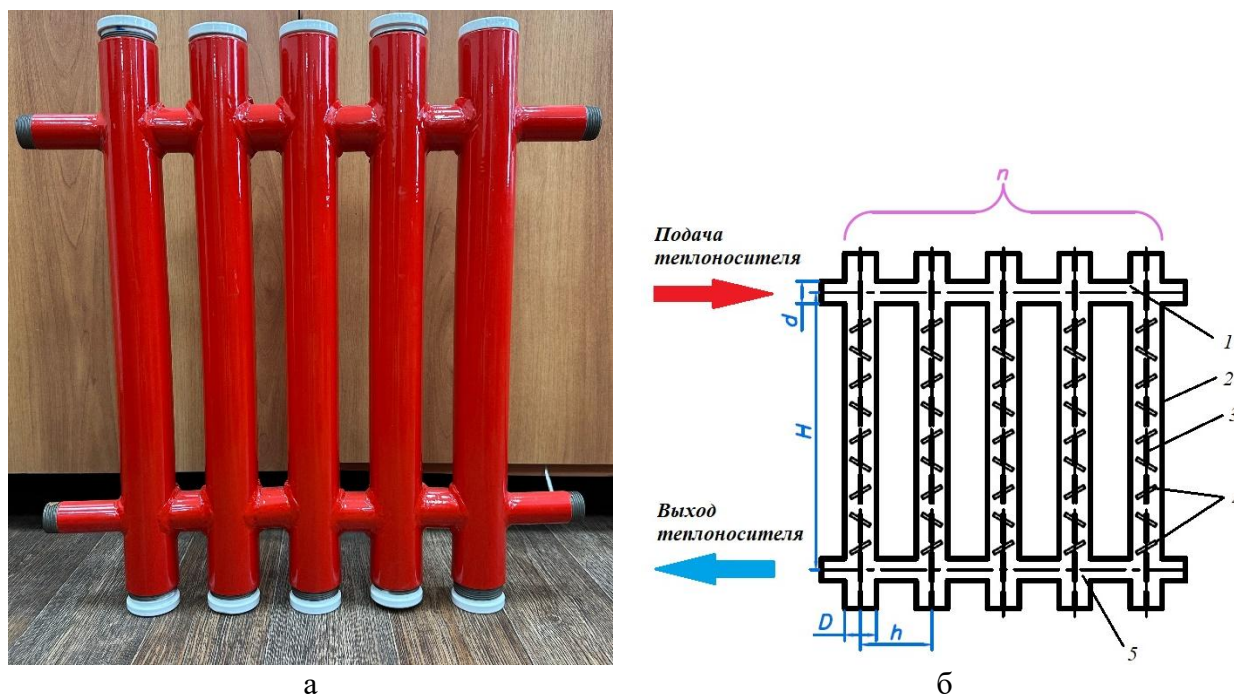
Отдельно выделяется направление исследований, связанное с применением численных моделей радиационного теплообмена. Работы учёных [19; 20] показали важность совместного рассмотрения конвективного и лучистого механизма передачи тепла в реальных конструкциях отопительных устройств.

Последние десятилетия характеризуются активным внедрением специализированных программных комплексов ANSYS Fluent, Star CCM+, OpenFOAM, SolidWorks используемых для трёхмерного моделирования сложных тепловых процессов в отопительном оборудовании. Российские и зарубежные учёные успешно применяют указанные инструменты для повышения точности расчетов и оптимизации геометрических параметров регистров, обеспечивая снижение энергозатрат и повышение эффективности обогрева помещений [21–23].

Таким образом, проведённый литературный обзор демонстрирует наличие обширной научной базы и накопленный опыт моделирования процессов теплообмена в гладких отопительных регистрах. Однако остаются нерешёнными важные практические задачи, касающиеся дальнейшего совершенствования методик расчета, учета специфических условий эксплуатации и адаптации существующих подходов к современным требованиям энергосбережения и экологичности. Настоящая работа направлена на углубление понимания указанных вопросов путём построения комплексной компьютерной модели рассматриваемого процесса и сопоставления расчётных данных с результатами натурных экспериментов в программном комплексе SOLIDWORKS с модулем Flow Simulation.

## Результаты

Авторским коллективом ранее обоснована и разработана оригинальная конструкция гладкого отопительного регистра [3], внешний вид и чертеж которого представлен на рисунке 1.



1 — распределительный канал; 2 — колонна; 3 — направляющая вставки; 4 — турбулизирующий элемент; 5 — сборный канал;  $n$  — количество колонн, шт;  $d$  — диаметр ниппеля, мм (3/4");  $H$  — межцентровое расстояние, мм;  $D$  — диаметр колонны, мм (1");  $h$  — шаг колонны, мм

**Рисунок 1.** Гладкий регистр с турбулизирующими вставками:

*а* — внешний вид; *б* — конструкторский чертеж (разработано авторами)

Геометрия гладкого отопительного прибора оказывает существенное воздействие на процесс теплообмена и гидравлические свойства системы.

В результате проведенного ранее исследования [3] установлено, что конструктивные параметры равны:

- диаметр трубы, определяющий площадь внутренней поверхности контакта теплоносителя с материалом стенки и, соответственно, величину передаваемого тепла составляет;
- длина регистра, непосредственно влияющая на общую поверхность теплообмена и коэффициент полезного действия прибора;
- количество колонн ( $n$ ), определяет эффективность процесса теплоотдачи. Рекомендуемое минимальное количество колонн — 5 шт;
- диаметр ниппеля ( $d$ ), выбран стандартным для обеспечения максимальной совместимости с существующей запорной арматурой;
- шаг расположения труб ( $h$ ), характеризующий плотность размещения отдельных секций регистра и степень равномерности распределения тепла по объему обогреваемого помещения, составляет 90 мм;
- межцентровое расстояние ( $H$ ), составляет 500 мм для обеспечения удобства монтажа всей конструкции.

Трубчатый радиатор отопления включает вертикальные трубы, которые в верхней части соединены между собой входным коллектором, а в нижней части — выходным коллектором. На обоих торцах входного коллектора установлены патрубки для подключения к подводящей магистрали. На обоих торцах выходного коллектора установлены патрубки для удаления теплоносителя в отводящую магистраль. К нижнему и верхнему торцам каждой вертикальной трубы прикреплены, например, с помощью резьбового соединения. Внутри каждой вертикальной трубы установлена направляющая, нижний конец которой жестко прикреплен, например, сваркой, к заглушке. Направляющая выполнена в виде прутка квадратного сечения с прикрепленными по форме развертывающегося геликоида лепестками. На верхнем патрубке для подключения к подводящей магистрали входного коллектора установлена заглушка. На нижнем патрубке для удаления теплоносителя в отводящую магистраль выходного коллектора установлена заглушка [24]. Оптимизация геометрии прибора обеспечивает максимальное приближение фактического значения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup> К), являющегося главной характеристикой эффективности работы отопительного прибора и который, в свою очередь, зависит от числа Рейнольдса, Re. Коэффициент теплоотдачи отражает интенсивность передачи тепла от теплоносителя к стенкам прибора и далее в окружающую среду.

$$\alpha = \frac{Q}{F\Delta T} \quad (1)$$

где:

- Q — тепловая мощность, Вт;
- F — площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>;
- $\Delta T$  — разность температур, град.

На следующем этапе исследования выполнено построение компьютерной модели в программном комплексе SolidWorks с применением специализированного модуля Flow Simulation поскольку он предназначен для численного моделирования течений жидкостей и газов, а также сопутствующего теплообмена. В результате была спроектирована 3D-модель канала гладкого регистра (рис. 2).



**Рисунок 2.** 3D-модель канала гладкого регистра (разработано авторами)

В качестве начальных и граничных условий при выполнении моделирования выбраны значения, представлены в таблице.

**Таблица**

**Параметры моделирования**

№ п/п	Параметры	Значение	Единица измерения
1	Температура на входе	70	°С
2	Скорость теплоносителя	0,3–0,7	м/с
3	Температура окружающей среды	20	°С
4	Давление	101 325	Па
5	Плотность теплоносителя	1 000	кг/м <sup>3</sup>
6	Сила тяжести	9,81	м/с <sup>2</sup>

*Разработано авторами*

В качестве теплоносителя рассматривается несжимаемая жидкость (вода), т. е. ее плотность принята постоянной на протяжении всех итераций моделирования. Кроме того, принято, что вода находится в постоянном поле действия сил тяжести.

Одним из важнейших критериев, определяющих интенсивность теплообмена в процессах конвекции, является число Рейнольдса,  $Re$ . Этот безразмерный критерий характеризует соотношение инерционных сил и сил вязкости в потоке жидкости или газа и прямо зависит от скорости потока, геометрических размеров и физических свойств среды.

Выражение для числа Рейнольдса выглядит следующим образом:

$$Re = \frac{Lv}{\nu}, \quad (2)$$

где:

$L$  — характерный геометрический размер (диаметр трубы, ширина канала и т. п.), м;

$v$  — скорость потока, м/с;

$\nu$  — кинематическая вязкость среды, м<sup>2</sup>/с.

Установлено, что именно величина числа Рейнольдса оказывает решающее влияние на характер течения и, следовательно, на интенсивность теплообмена.

При малых значениях  $Re$  ( $< 2\,300$ ) наблюдается ламинарный режим течения, при котором жидкость движется упорядоченно слоями, практически без перемешивания. Интенсивность теплообмена в таком режиме сравнительно низкая, поскольку перенос тепла осуществляется главным образом за счёт теплопроводности.

При больших значениях  $Re$  ( $> 4\,000$ ) возникает турбулентный режим, сопровождающийся хаотическим движением частиц жидкости и интенсивным перемешиванием слоев. Турбулентность резко увеличивает интенсивность теплообмена, поскольку возрастает доля конвективного переноса тепла.

Именно поэтому большинство известных критериальных зависимостей для расчёта коэффициента теплоотдачи,  $\alpha$  включают в себя число Рейнольдса в качестве главного аргумента. Например, одно из классических выражений для гладкой трубы при турбулентном течении:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}, \quad (3)$$

где:

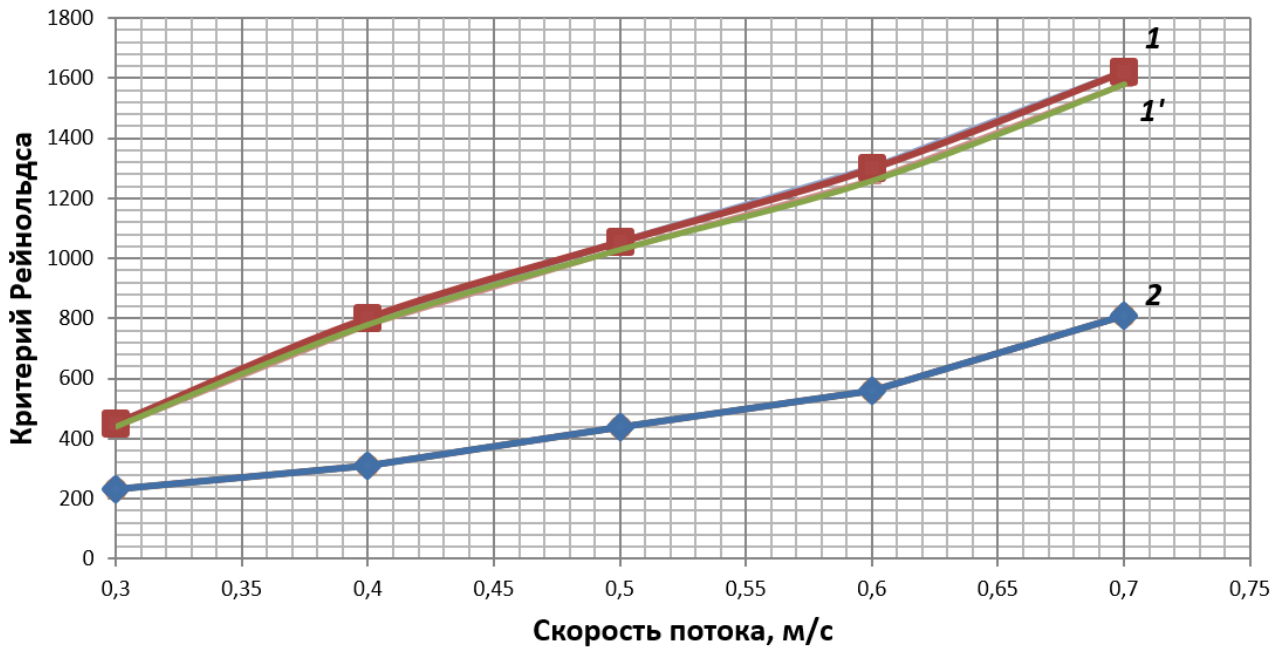
$Nu$  — критерий Нуссельта, пропорциональный искомому коэффициенту теплоотдачи  $\alpha$ ;

$Pr$  — число Прандтля.

В результате моделирования определены зависимости среднего значения числа  $Re$  в секциях при скорости потока жидкости от 0,3 до 0,7 м/с с шагом 0,1 м/с (рис. 3).

Следовательно, увеличение скорости потока теплоносителя приводит к увеличению числа Рейнольдса, усилению турбулизации потока и, как следствие, повышению коэффициента теплоотдачи.

Именно этот эффект лежит в основе многих инженерных решений, направленных на интенсификацию теплообмена в промышленных аппаратах и бытовых отопительных устройствах.



1 — гладкий регистр с турбулизирующей вставкой; 1' — расчетные значения числа Re для гладкого регистра с турбулизирующей вставкой; 2 — гладкий регистр без турбулизирующей вставки (серийный)

**Рисунок 3.** Зависимость числа Re от скорости потока в канале гладкого регистра (разработано авторами)

Далее необходимо определить численное значение интенсивности турбулентности I, % для увеличения точности расчетов. Данный параметр представляет собой меру пульсационной активности потока и количественно равен отношению среднеквадратичного отклонения мгновенной скорости потока к его осреднённой величине:

$$I = \frac{u'}{\bar{U}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где:

$u'$  — среднеквадратичное отклонение мгновенной скорости потока, м/с;  $\bar{U}$  — среднее арифметическое значение скорости потока, м/с.

В свою очередь среднеквадратичное отклонение мгновенной скорости потока определяется следующим образом:

$$u' = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{U})^2}, \quad (5)$$

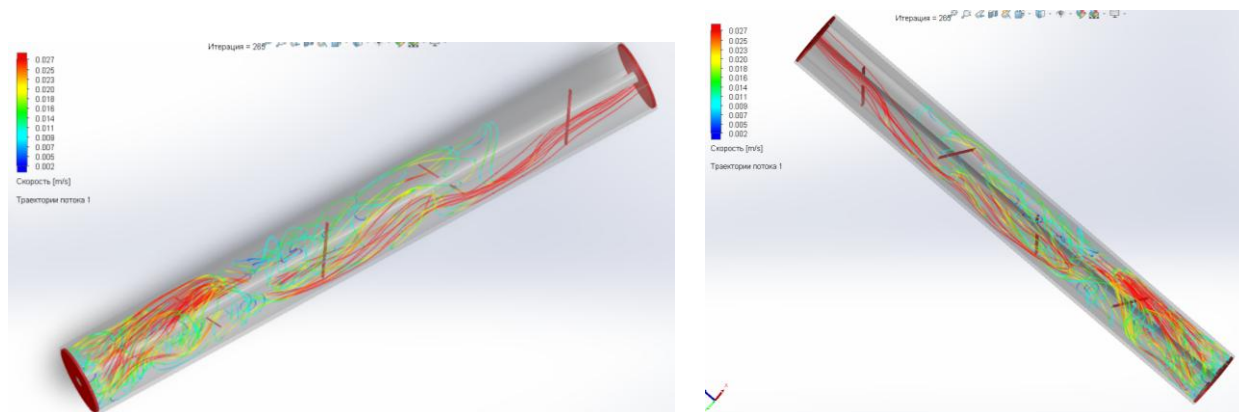
где:

$u_i$  — мгновенное значение скорости в точке измерения, м/с; N — количество измерений, шт.

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i. \quad (6)$$

Физический смысл интенсивности турбулентности заключается в качественном отражении насколько сильно колебания (пульсации) скорости отличаются от средней скорости потока. Чем больше значение  $I$  тем сильнее проявляется турбулентность, тем активнее происходят смешивающие процессы, усиливается теплообмен и увеличивается трение.

Результаты моделирования представлены в виде траекторий движения теплоносителя с цветовым распределением интенсивности турбулентности (рис. 4).



**Рисунок 4.** Графическое распределение интенсивности турбулентности потока в сечениях (разработано авторами)

В итоге среднее значение интенсивности турбулентности составило 1,26 %. Применение турбулизирующих вставок позволило увеличить эффективность работы гладкого отопительного регистра в среднем на 26 % в основном диапазоне скоростей.

### Выводы

1. Увеличение турбулизации потока теплоносителя приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи отопительных аппаратов.
2. Регулярное измерение и расчёт интенсивности турбулентности позволяют определить рациональные конструктивно-режимные параметры гладких регистров с турбулизирующей вставкой с целью интенсификации их теплоотдачи.
3. Высокое значение коэффициента теплоотдачи позволяет снизить габаритные размеры и стоимость отопительного оборудования.
4. Разработанная конструкция гладкого отопительного регистра способствует снижению экономических издержек на отопление промышленных зданий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование движения теплоносителя в трубчатых радиаторах отопления / Л.А. Куцев, В.Н. Мелькумов, Н.Ю. Саввин, В.В. Чуйко // Научный журнал строительства и архитектуры. — 2022. — № 4(68). — С. 40–49. — DOI 10.36622/VSTU.2022.68.4.004.
2. Модифицированный пластинчатый теплообменный аппарат / Т.Н. Ильина, Н.Ю. Саввин, О.А. Сотникова, Д.Ю. Сулов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. — 2025. — № 5(281). — С. 35–37. <https://www.c-o-k.ru/articles/modificirovannyy-plastinchatyy-teploobmennyy-apparat>.

3. Анализ подходов к совершенствованию конструкций регистров систем отопления / А.Ю. Феоктистов, А.В. Ткачев, С.В. Староверов, Н.Ю. Саввин // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17, № 3. — С. 3. <https://esj.today/PDF/03SAVN325.pdf>.
4. Мещерякова, М.А. Повышение энергоэффективности системы отопления в жилых домах за счет внедрения инновационных систем / М.А. Мещерякова, В.Ю. Боголепова, А.Е. Арников // Строительство и недвижимость. — 2024. — № 2(15). — С. 45–50. — EDN FYNYWC.
5. Чичиров, К.О. Пути повышения экологичности и энергоэффективности систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / К.О. Чичиров, К.А. Аверина, Л.В. Суркова // Проблемы научной мысли. — 2019. — Т. 7, № 3. — С. 35–41. — EDN LYRJVO.
6. Саввин, Н.Ю. Моделирование теплообменного процесса в оригинальном пластинчатом теплообменнике / Н.Ю. Саввин // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. — 2023. — № 2(25). — С. 37–46. — DOI 10.36622/VSTU.2023.41.58.004.
7. Хованов, Н.Н. Результаты моделирования процессов теплопередачи и гидравлических сопротивлений на поверхностях теплообмена в конвективных и экранных трубах / Н.Н. Хованов, И.О. Мищенко, С.А. Петриков // Тяжелое машиностроение. — 2011. — № 5. — С. 34–39. — EDN OIJNUP.
8. Возобновляемые и вторичные источники энергии инженерных систем при эксплуатации и реконструкции зданий и сооружений / Т.Н. Ильина, Н.Ю. Саввин, О.А. Аверкова, К.И. Логачев // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15, № 4. — EDN ENJZMH.
9. Сырцов, Л.А. Экспериментальные исследования конвективного теплообмена на основе теории подобия / Л.А. Сырцов, И.В. Наумчик, А.В. Хорошавин // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. — 2015. — № 649. — С. 198–204. — EDN VLCXWP.
10. Тепловые насосы с испарителями различных конструкций / Т.Н. Ильина, Н.Ю. Саввин, П.А. Орлов, В.А. Уваров // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15, № 5. — EDN SRCVAS.
11. Моделирование, исследование и оптимизация в COMSOL Multiphysics функциональных характеристик первичного теплообменника отопительной системы на сверхкритическом CO<sub>2</sub> / В.А. Сучилин, А.С. Кочетков, Н.Н. Губанов, Я.А. Кочеткова // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. — 2024. — № 2(266). — С. 70–77. — EDN SYUWEU.
12. Определение параметров конвективного потока от отопительного прибора методом математического моделирования / В.В. Кузина, А.Н. Кошев, А.И. Еремкин, И.К. Пономарева // Региональная архитектура и строительство. — 2024. — № 2(59). — С. 157–163. — DOI 10.54734/20722958\_2024\_2\_157. — EDN PTEOGF.
13. Саввин, Н.Ю. Повышение эффективности систем теплоснабжения / Н.Ю. Саввин, Р.В. Лесовик, Т.Н. Ильина // Строительство и архитектура. — 2025. — Т. 13, № 2(47). — С. 3. — DOI 10.29039/2308-0191-2025-13-2-3-3. — EDN KLWBDJ.
14. Гузенко, С.А. Оптимизация геометрических параметров ротора смесителя методом CFD-моделирования / С.А. Гузенко // Инновационная наука. — 2026. — № 2-1. — С. 42–44. — EDN BTOUCO.

15. Ткаченко, Е.К. Моделирование процесса работы отопительного прибора с нижним подключением посередине в программной среде ЛОГОС / Е.К. Ткаченко // Актуальные исследования. — 2024. — № 51-1(233). — С. 13–20. — EDN KMVJON.
16. Мокшин, Д.И. Методика проведения и обработки экспериментов по исследованию локальной и средней теплоотдачи зданий и сооружений / Д.И. Мокшин, С.В. Коробков // Наука и современность. — 2014. — № 31. — С. 112–122. — EDN SJXSCJ.
17. Расчёт коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности полевого магистрального трубопровода в окружающую среду / К.М. Плотникова, В.В. Середа, Д.И. Мельников [и др.] // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. — 2023. — № 61. — С. 325–344. — EDN FGDODY.
18. Ибрагимов, У.Х. Экспериментальное исследование коэффициента теплоотдачи в трубках теплообменника при применении локальных турбулизаторов / У.Х. Ибрагимов, С.М. Шомуратова // Молодой ученый. — 2014. — № 4. — С. 178–179. — EDN SAJZOX.
19. Подобие в численном и экспериментальном исследовании теплообмена в модели помещения жилого объекта при изменчивой отопительной нагрузке / А.Р. Хуснутдинова, Л.А. Валиуллин, Р.Р. Даминов [и др.] // Надежность и безопасность энергетики. — 2025. — Т. 18, № 1. — С. 31–38. — DOI 10.24223/1999-5555-2025-18-1-31-38. — EDN BUZYWV.
20. Базир, Н.А. Построение численной модели нестационарного теплообмена цилиндрических заготовок при индукционном нагреве / Н.А. Базир, А.А. Базаров, Л.С. Зимин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. — 2007. — № 2(20). — С. 181–183. — EDN JXKPGV.
21. Вельчинская, П.А. Применение программно-вычислительных комплексов SOLIDWORKS и STAR CCM+ для моделирования процессов в тепловых сетях / П.А. Вельчинская // Матрица научного познания. — 2022. — № 4-2. — С. 47–57. — EDN UXAWHD.
22. Zou, Y. Comparison of STAR-CCM+ and ANSYS Fluent for simulating indoor airflows / Y. Zou, X. Zhao, Q. Chen // Building Simulation. — 2018. — Vol. 11, No. 1. — P. 165–174. — DOI 10.1007/s12273-017-0378-8. — EDN BTGIRI.
23. Повышение эффективности систем создания микроклимата / Н.Ю. Саввин, Т.Н. Ильина, Р.В. Лесовик [и др.] // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2025. — Т. 15, № 3(54). — С. 501–515. — DOI 10.21285/2227-2917-2025-3-501-515.
24. Патент на полезную модель № 225018 U1 Российская Федерация, МПК F24H 3/08, F28F 1/36, F28F 13/00. Лепестковый трубчатый радиатор отопления: № 2024104301: заявл. 20.02.2024: опубл. 11.04.2024 / Л.А. Куцев, В.А. Уваров, А.В. Ткачев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова". — EDN EQAUWN.

**Feoktistov Alexey Yurievich**

Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod, Russia  
E-mail: alexwolf79@mail.ru  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=214929](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=214929)

**Tkachev Alexander Valerievich**

Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod, Russia  
E-mail: alexwolf79@mail.ru  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1290954](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1290954)

**Staroverov Sergey Vladimirovich**

Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod, Russia  
E-mail: polimark@rambler.ru  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=716168](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=716168)

**Savvin Nikita Yurievich**

Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod, Russia  
E-mail: n-savvin@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6379-6825>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1108836](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1108836)

**Feoktistov Yuri Alexandrovich**

Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod, Russia  
E-mail: alexwolf79@mail.ru  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=461006](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=461006)

## **Modeling of heat exchange in a smooth heating register of an original design**

**Abstract.** This article examines ways to improve the efficiency of heating systems in residential and public buildings by optimizing heat transfer in smooth-tube heating registers. It is noted that the radiator is a key element of the heating system, determining the overall thermal effect, and its internal geometric features significantly affect heat transfer. The relevance of this study stems from the need to reduce energy costs and improve the energy efficiency of modern engineering systems. The aim of this study is to develop and test an adequate computer model of heat transfer in smooth heating registers, taking into account the effect of turbulent inserts on heat transfer intensity. The study utilizes computational fluid dynamics methods implemented in the SolidWorks software package with the Flow Simulation module. An analysis of domestic and international literature on thermal process modeling is conducted, and classical and modern approaches to calculating heat transfer coefficients are considered, as well as the specifics of accounting for turbulence and radiative heat transfer. This study involved developing a unique design for a smooth heating register with turbulent elements that enhance heat transfer. Three-dimensional modeling of the register channel was performed, determining initial and boundary conditions, including coolant parameters, temperature conditions, and the physical properties of the medium. Particular attention was paid to analyzing the Reynolds number as the primary criterion determining the flow pattern and heat transfer intensity. The dependences of the heat transfer coefficient and turbulence intensity on the coolant flow velocity were calculated. Modeling results showed that the use of turbulent inserts increases the efficiency of the smooth heating register by an average of 26 % compared to standard analogs. Increased flow turbulence was found to increase the heat transfer coefficient, which helps reduce the overall dimensions and cost of heating equipment while maintaining the required thermal output. The developed design and modeling methodology can be used to optimize the design of heating systems for industrial and civil buildings, thereby reducing heating costs and improving energy efficiency.

**Keywords:** heating register; heat exchange; computer modeling; turbulent insert; heat transfer coefficient; CFD modeling; energy efficiency