

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>  
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2023, Том 10, № 4 / 2023, Vol. 10, Iss. 4 <https://resources.today/issue-4-2023.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/06INOR423.pdf>

DOI: 10.15862/06INOR423 (<https://doi.org/10.15862/06INOR423>)

2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Шилкина, С. В. Автоматизация систем воздушного отопления зданий / С. В. Шилкина, О. В. Иванова // Отходы и ресурсы. — 2023. — Т. 10. — № 4. — URL: <https://resources.today/PDF/06INOR423.pdf> DOI: 10.15862/06INOR423

**For citation:**

Shilkina S.V., Ivanova O.V. Automation of air heating systems of buildings. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2023; 10(4): 06INOR423. Available at: <https://resources.today/PDF/06INOR423.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/06INOR423

**УДК 697:681.5**

## Шилкина Светлана Вячеславовна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
Москва, Россия

Доцент

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: [Shilkina@bk.ru](mailto:Shilkina@bk.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7279-7026>

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAD-4261-2022>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57192381648>

## Иванова Ольга Вячеславовна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
Москва, Россия

E-mail: [oxolyi@mail.ru](mailto:oxolyi@mail.ru)

## Автоматизация систем воздушного отопления зданий

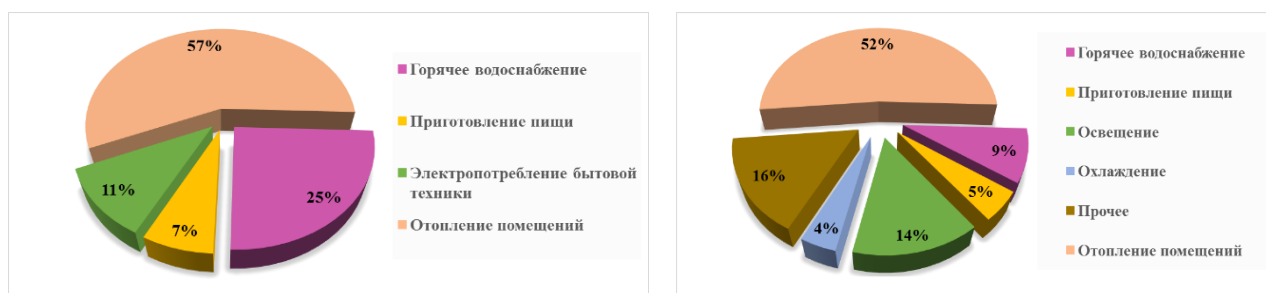
**Аннотация.** Для России с её относительно длительной и холодной зимой важную роль играют энергоэффективные системы производства тепловой энергии, методы ее транспортировки с минимальными потерями и технологии экономного потребления. Основными потребителями тепла в жилищно-коммунальном комплексе и городском строительном хозяйстве являются жилые, общественные здания, гражданские, производственные и промышленные объекты. Энергосбережение в зданиях напрямую связано с внедрением энергоэффективных систем теплоснабжения. При этом важная роль уделяется автоматизации систем, поскольку она позволяет не только повысить эффективность систем отопления, осуществить контроль важнейших параметров микроклимата, таких как температура, влажность, содержание CO<sub>2</sub>, повысить комфорт для пользователей, но и снизить затраты на электрическую и тепловую энергию, улучшить экологию. Автоматизация системы воздушного отопления предполагает применение различных средств автоматического контроля и управления: датчики, контроллеры и другие. Управление установкой может осуществляться автоматически без непосредственного участия человека. Внедрение таких систем позволяет сократить количество непредвиденных аварийных ситуаций, отслеживать в реальном времени течение всех процессов, оптимизировать работу оборудования и повысить энергоэффективность установки. Кроме этого, автоматизированные инженерные системы здания могут быть легко интегрированы в АСУ здания, а это ещё один шаг на пути цифровой

трансформации экономики города, экономии ресурсов, перехода от «умного» дома к «умному» городу. В статье приводится обзор технологических и технических решений, рассматриваются технологии и средства автоматизации систем отопления. Авторами данного материала представлены результаты SWOT-анализа факторов для системы автоматизации процесса отопления зданий, даются рекомендации по применению технологии воздушного отопления, обосновывается внедрение автоматизированной системы управления тепловым процессом. Данная статья является частью исследования авторов в области автоматизации систем теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования зданий, собранный материал планируется представить в магистерской диссертации.

**Ключевые слова:** технологии отопления зданий; микроклимат; воздушное отопление; автоматизированная система управления; «умный» дом; энергосбережение; энергоэффективность

## Введение

Наша страна одна из самых холодных в мире, поэтому для неё очень важны не только эффективные системы производства тепловой энергии, но также и технологии её экономного потребления. Главной задачей является обеспечение потребителей теплом в полном объёме. Более 50 % энергопотребления в жилых и общественных зданиях идёт на отопление помещений (рис. 1).

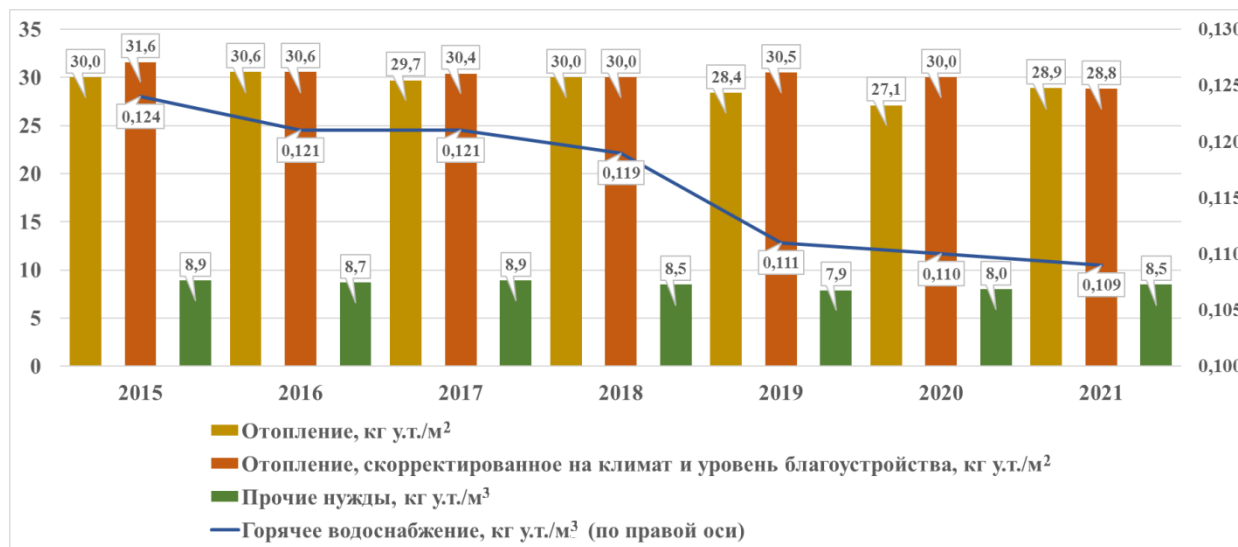


**Рисунок 1.** Распределение энергопотребления в жилых зданиях (слева) и общественных зданиях (справа), (по данным Росстат)

Проблема рационального теплообеспечения пользователей в прошлом веке решалась с помощью строительства массивных каменных и деревянных конструкций стен с небольшими оконными проёмами. Расход тепла был высоким, особенно в пятидесятые — шестидесятые годы, когда возводились панельные дома первых серий массовой застройки. В этот период и до 1994 года действовали низкие строительные нормы теплоизоляции конструктивных элементов, самих конструкций, поэтому большое количество многоквартирных жилых домов было построено согласно действующим на тот момент нормативам. Отметим, что применение ресурсоэффективных и энергоэффективных технологий, конструкций с использованием инновационных материалов, например, новых эффективных утеплителей снижает удельный вес здания в два — три раза по отношению к традиционным конструкциям. Однако и в настоящее время в крупных мегаполисах всё ещё проводится массовое многоэтажное строительство, опирающееся на существующую материально-техническую и производственную базу [1].

В современном мире все больше владельцев зданий и помещений стремятся к улучшению комфорта проживания и работы, а также к эффективному использованию ресурсов. Одной из важнейших систем, влияющих на комфорт и энергоэффективность, является система отопления [1], что подтверждают приведённые далее аналитические данные Минэкономразвития

РФ для жилищного сектора <sup>1</sup>, отражающие динамику удельных расходов энергии на производство отдельных видов услуг (рис. 2), а также вклад технологического фактора за счёт отдельных направлений использования энергии (рис. 3).

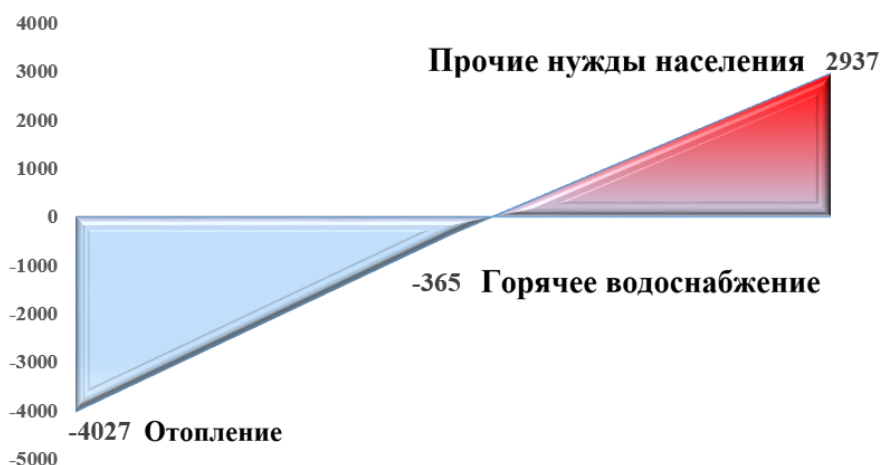


**Рисунок 2.** Динамика удельных расходов энергии на производство отдельных видов услуг в жилищном секторе (построено авторами на основе анализа Минэкономразвития России по сведениям Росстата)

Рост потребления энергии в жилищном секторе по данным на 2021 г. связан с фактором климата, который обусловил прирост потребления энергии на отопление (рис. 2). Изменение уровня благоустройства жилищного фонда и обеспеченности бытовой техникой в 2021 г. обусловили некоторое снижение потребления относительно 2020 г. Отметим, что строительство современных энергоэффективных зданий и повышение теплозащиты уже построенных, рост использования улучшенных систем горячего водоснабжения и бытовых приборов позволили снизить потребление энергии в жилищном секторе за счет технологического фактора. Без коррекции на климат удельные расходы энергии на цели отопления в 2021 г. выросли. Удельные расходы энергии на цели отопления в 2021 г. были существенно ниже по сравнению с 2015 г., что позволило обеспечить значительный вклад технологического фактора (рис. 3).<sup>1</sup>

Приведённая статистика объясняется тем, что в период пандемии 2020 г. жители в зданиях с индивидуальными системами отопления проводили больше времени дома, однако, это не позволяло снижать температуру в период их отсутствия и тем самым сокращать потребление топлива в отопительных котлах. Тенденция снижения удельного расхода энергии на нужды горячего водоснабжения сохранилась за счет мероприятий по замене водоразборного оборудования и повышению оснащённости зданий приборами учета. Если повышение потребления энергии за счет роста удельного расхода на прочие нужды населения в 2021 г. полностью отнести на фактор климата (рис. 3), то его вклад в рост потребления энергии повышается, также как и вклад технологического фактора. При анализе зависимости удельного расхода энергии на прочие нужды для сравнительно холодных лет приведённая статистика показывает, что со временем имеется тенденция к его снижению. Таким образом, наблюдается технологический прогресс в повышении эффективности использования энергии на прочие нужды.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Государственный доклад «О состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в российской федерации в 2021 году», Министерство экономического развития РФ, МОСКВА, 2022.



**Рисунок 3.** Вклад технологического фактора за счет отдельных направлений использования энергии в жилищном секторе (тыс. т. у. т.) (построено авторами на основе анализа Минэкономразвития России по сведениям Росстата)

В настоящее время задачи, связанные с функционированием систем отопления зданий, актуальны как с точки зрения повышения энергоэффективности, улучшения экологической ситуации, достижения максимального комфорта пользователей, так и с точки зрения экономической эффективности и энергобезопасности. Существуют различные системы отопления и технологии, которые позволяют поддерживать комфортные параметры микроклимата. Однако актуальность внедрения эффективных систем возрастает с каждым годом. Это связано с рядом причин. Во-первых, в связи с ростом цен на энергоресурсы и ухудшением экологической ситуации, все больше внимания уделяется повышению энергоэффективности систем отопления, ведутся разработки новых технологий и материалов, позволяющих снизить потери энергии. Во-вторых, отопительные системы, работающие на традиционных источниках энергии (уголь, газ, мазут, дизель), оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Поэтому разрабатываются варианты использования альтернативных источников энергии, например, энергии солнца (солнечные панели), энергии земли (геотермальные источники), энергии ветра (ветрогенераторы) и другие. В-третьих, внедрение энергоэффективных и альтернативных источников отопления приводит к экономии топливно-энергетических ресурсов, денежных средств, как на этапе установки системы, так и в процессе ее эксплуатации. В-четвёртых, правильно спроектированная и установленная система отопления обеспечивает комфортные условия для проживания или работы, что является важным фактором для поддержания здоровья и работоспособности людей. В-пятых, развитие и внедрение новых технологий в области отопления способствует снижению зависимости от импорта энергоресурсов и укреплению энергетической безопасности страны [1–3].

Обобщая вышесказанное, хотим подчеркнуть, что достичь высокой энергетической эффективности возможно только при комплексном подходе, учитывая две первостепенные задачи: обеспечение энергоэффективности зданий и обеспечение энергоэффективности самих систем теплоснабжения. По статистике порядка 30 % затрат энергоресурсов связано с непроизводительными потерями в установках генерации, при транспортировке, распределении и учете тепловой энергии, также значительные потери энергии происходят и непосредственно при потреблении, включающем в себя огромное количество составляющих [1]. Ресурсосбережение необходимо предусмотреть на всех этапах строительства: (1) При выборе участка строительства должны быть учтены природно-климатические, сейсмические и др. условия, наличие существующей жилой, промышленной и инфраструктурной застройки; (2) При проектировании необходимо не только ориентироваться на достижение требуемых в

строительных нормах критериев теплозащиты и теплосбережения, но и применять рациональные проектно-строительные решения, ресурсосберегающие технологии, прогрессивные строительные материалы и конструкции; (3) При производстве строительных материалов, конструкций использовать инновационные энергоэффективные технологии, промышленные и коммунально-бытовые отходы при производстве строительных материалов; (4) При ведении работ на стройплощадке необходимо использование высокопроизводительной техники, современных машин и подъемно-транспортных механизмов, прогрессивных технологий и техоснастки, робототехнических систем и комплексов, внедрение научной организации труда, оптимальных логистических потоков, методов сетевого планирования и управления производством, а также безопасных и безвредных условий труда, что позволит сократить энергетические затраты строительного производства; (5) При эксплуатации необходимы: снижение энерго-, тепло-, водопотребления в зданиях, увеличение сроков эксплуатации оборудования, систем и межремонтных циклов, создание комфортных условий проживания (для жилых зданий) и работы (для общественных зданий) [2].

Целями данной статьи являются: обзор и сравнение технологий отопления; описание особенностей и рассмотрение преимуществ использования АСУ отоплением для повышения энергоэффективности и экономии ресурсов; проведение SWOT-анализа; выработка рекомендаций по выбору технологии отопления и её автоматизации, а также рассмотрение возможных направлений развития путём комбинирования вариантов с использованием альтернативных источников энергии.

Наработки по данной статье являются частью исследования авторов в области автоматизации систем теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования зданий, в дальнейшем материал планируется использовать в магистерской диссертации обучающегося.

### Материалы и методы

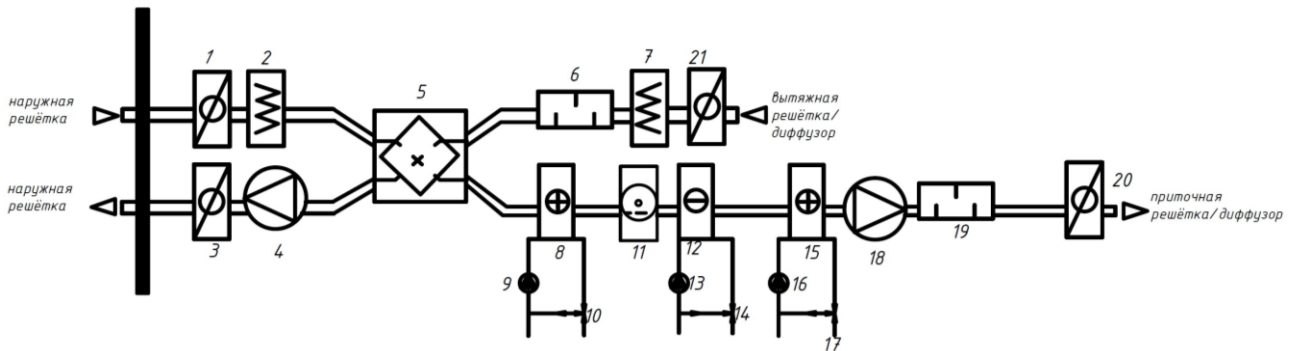
Рассмотрим технологии и особенности автоматизации процесса отопления. Воздушное отопление используется в западных странах, для России это не столь распространённая технология в строительстве из-за своей специфики, она применяется для помещений с большими объёмами, в основном, для объектов гражданского и производственного назначения. Однако по сравнению с водяным отоплением или приточно-вытяжной системой, она имеет ряд преимуществ.

Благодаря тому, что в данном технологическом процессе в качестве теплоносителя используется воздух, обеспечивается быстрый прогрев помещений. Преимуществом является и тот факт, что система представлена комплексом средств. Оборудование работает не только в холодный, но и в тёплый период года, благодаря объединению отопительных приборов с приточно-вытяжной вентиляцией, за счёт чего сокращаются затраты на энергоресурсы и обслуживание системы, улучшаются показатели эколого-экономических характеристик установки [3–6].<sup>2</sup>

Технология является относительно простой при объединении систем отопления и вентиляции, поэтому схемное решение соответствует обычной системе приточно-вытяжной вентиляции, но с более мощным оборудованием [7–9]. На рисунке 4 приведена технологическая схема процесса отопления.

<sup>2</sup> Forumhouse. Воздушное отопление дома. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forumhouse.ru/journal/articles/5432-vozdushnoe-otoplenie-doma-opyt-forumchan> (дата обращения 20.09.23).





Условные обозначения: 1, 3 — воздушные клапаны; 2, 7 — фильтры; 4, 18 — вентиляторы; 5 — рекуператор; 6, 19 — шумоглушители; 8, 15 — водяные калориферы; 9, 13, 16 — циркуляционные насосы; 10, 14, 17 — трехходовые клапаны; 11 — сотовый увлажнитель; 20, 21 — воздушные заслонки

**Рисунок 4.** Технологическая схема воздушного отопления (построено авторами)

Приведём краткое описание основных элементов схемы (рис. 4) [7]: (1) Воздушный фильтр. Фильтр для воздуха является одним из основных компонентов системы воздушного отопления, он предназначен для очистки воздуха от пыли, грязи и других механических загрязнений перед его подачей в нагревательный элемент. Воздушные фильтры могут быть различных типов: бумажные, тканевые, угольные, электростатические. (2) Нагревательный элемент. Нагревательный элемент является «сердцем» системы воздушного отопления, его функция заключается в повышении температуры воздушного потока с помощью различных источников тепла, таких как электрическая энергия, газ, горячая вода. Некоторые системы используют комбинацию различных источников тепла для обеспечения более эффективного и экономичного обогрева. (3) Вентилятор. Вентилятор способствует циркуляции воздушного потока через систему, обеспечивая равномерный обогрев всего помещения. Он может быть установлен как на входе, так и на выходе системы, в зависимости от конструкции и производителя. Некоторые вентиляторы также оснащены функцией регулировки скорости вращения для более точной настройки температуры в помещении. (4) Терморегулятор. Терморегулятор — ключевой компонент системы воздушного отопления, с его помощью осуществляется контроль температуры воздуха внутри помещения и автоматическое регулирование работы нагревательного элемента и вентилятора в целях поддержания заданной температуры, что позволяет экономить энергию и обеспечивает комфортную температуру внутри помещения. (5) Воздуховоды и диффузоры. Воздуховоды и диффузоры предназначены для распределения нагретого воздуха по всему помещению. Они могут быть изготовлены из различных материалов, таких как металл, пластик или стекловолокно, имеют различные формы и размеры в зависимости от дизайна системы и потребностей пользователя. Диффузоры отвечают за равномерное распределение воздуха в помещении, обеспечивая более эффективное использование энергии и комфорт для пользователей. (6) Увлажнитель воздуха. Некоторые системы воздушного отопления включают в себя увлажнитель воздуха для поддержания оптимальной влажности воздуха в помещении. Увлажнитель может быть встроенным в систему или может подключаться к ней через специальные разъемы.

Далее рассмотрим достоинства и недостатки системы воздушного отопления [7–9].

Основные преимущества:

- Быстрое распространение тепла: воздушное отопление позволяет теплу распространяться по всему помещению в 5–10 раз быстрее, чем при использовании систем водяного отопления.

- Простота монтажа по сравнению с водяными системами отопления.
- Практически отсутствуют расходы на ежегодное обслуживание.
- Среднегодовой коэффициент полезного действия у систем воздушного отопления в 2–3 раза выше, чем при использовании водяных систем отопления.
- Экономия пространства: правильно спроектированная и установленная система воздушного отопления занимает меньше места, чем системы водяного отопления, что позволяет использовать пространство более эффективно.
- Опасность протекания и разморозки теплоносителя, возникновения воздушных пробок, выхода из строя труб из-за образования коррозии сведены к нулю.
- Срок службы сопоставим со сроком жизненного цикла здания, в отличие от систем водяного отопления, где средний срок эксплуатации до капитального ремонта 10–25 лет.
- Безопасность: воздушное отопление безопасно для использования, так как оно не создает угрозы пожара или отравления угарным газом.

Основные недостатки системы воздушного отопления:

- Эффективное воздушное отопление относительно дорогостоящая система, разработка которой возможна лишь на стадии проектирования и строительства здания. При водяном отоплении изменения в проект возможно вносить на всех этапах жизненного цикла здания.
- Зависимость от использования электроэнергии: если для работы системы воздушного отопления используется электроэнергия, то эксплуатация системы становится достаточно дорогой. В качестве альтернативы возможно использование газового оборудования для нагрева подаваемого в помещение воздуха, но это только при наличии данного вида топлива.
- Шум: подача воздуха в помещения сопровождается некоторым шумом, что может мешать комфорту пребывания в помещении.
- Возможность распространения пыли и аллергенов: нагреваемый воздух в системе воздушного отопления может распространять пыль и аллергены внутри здания.
- Проблемы качества воздуха: при неправильном использовании системы воздушного отопления возможно снижение параметров качества воздуха, например, из-за перегрева или недостатка кислорода.

В таблице 1 приведены результаты SWOT-анализа для оценки преимуществ и рисков использования системы воздушного отопления на основе схемы SWOT-анализа данного процесса (рис. 5). Данный метод анализа позволяет оценить сильные (Strengths) и слабые (Weaknesses) стороны, возможности (Opportunities) и угрозы (Threats) для различных систем, проектов, организаций. Он помогает определить, какие действия следует предпринять для достижения поставленных целей и как наиболее эффективно использовать имеющиеся ресурсы [10].

Показатель  $U$  характеризует общее число значимости по каждому критерию. Из таблицы 1 видно, что сильные стороны и возможности преобладают над угрозами и слабыми сторонами. Для наглядности представим сопоставления в виде диаграмм (рис. 6–9).

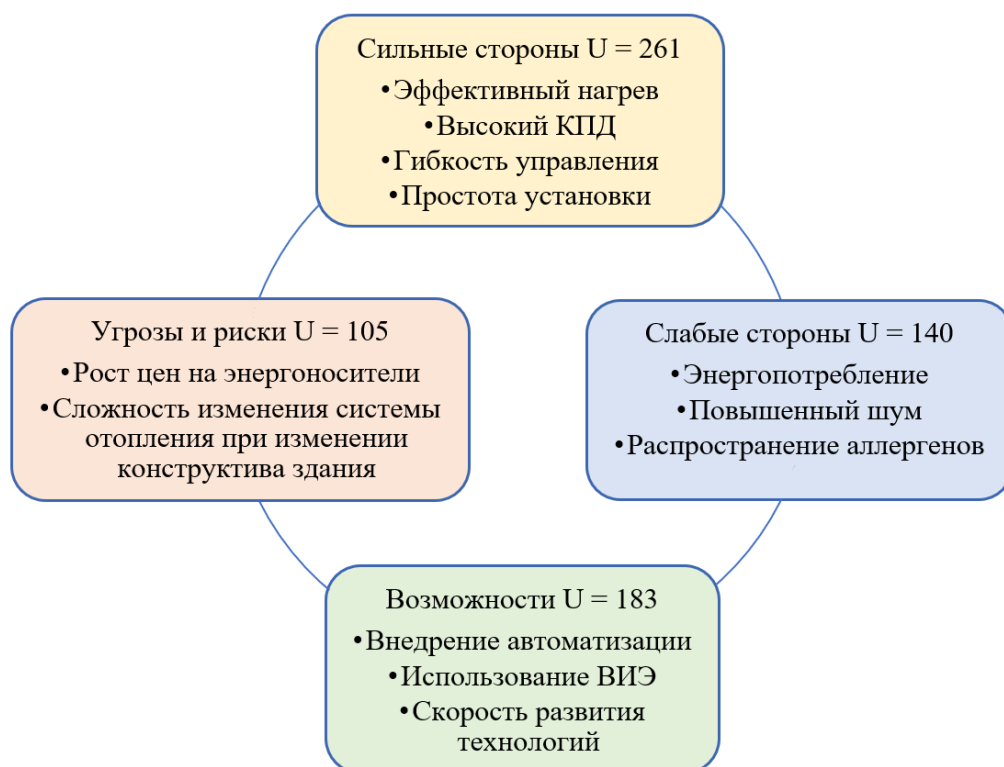


Рисунок 5. Схема SWOT-анализа процесса воздушного отопления (составлено авторами)

Таблица 1

**SWOT-анализ системы воздушного отопления**

<p><b>Сильные стороны U = 261</b></p> <p>1. Эффективный нагрев <math>z = 10</math>; <math>p = 10</math>; <math>V = 100</math>.                  В 5–10 раз быстрее осуществляется прогрев помещений, чем при водяном отоплении.</p> <p>2. Гибкость <math>z = 9</math>; <math>p = 9</math>; <math>V = 81</math>.                  Гибкость заключается в применении различных средств, позволяющих использовать установку круглогодично, что увеличивает КПД.</p> <p>3. Простота установки <math>z = 10</math>; <math>p = 8</math>; <math>V = 80</math>.                  Сама установка имеет понятный и простой конструктив без лишних и сложных элементов.</p>	<p><b>Слабые стороны U = 140</b></p> <p>1. Энергопотребление <math>z = 8</math>; <math>p = 7</math>; <math>V = 56</math>.                  При использовании электроэнергии затраты могут быть больше, чем при водяном отоплении.</p> <p>2. Повышенный шум <math>z = 7</math>; <math>p = 6</math>; <math>V = 42</math>.                  Повышенный уровень шума приводит к необходимости применения шумоизоляции и предварительного планирования расположения рабочих зон и зон отдыха.</p> <p>3. Распространение аллергенов <math>z = 7</math>; <math>p = 6</math>; <math>V = 42</math>.                  Воздух может содержать аллергены. Необходимы фильтры и их своевременная очистка и замена.</p>
<p><b>Возможности U = 183</b></p> <p>1. Внедрение автоматизации <math>z = 9</math>; <math>p = 8</math>; <math>V = 72</math>.                  Возможность внедрения многоуровневой автоматизированной системы управления отопления и вентиляции в помещениях.</p> <p>2. Использование ВИЭ <math>z = 9</math>; <math>p = 7</math>; <math>V = 63</math>.                  В качестве топлива может быть использован альтернативный источник энергии.</p> <p>3. Скорость развития технологий <math>z = 8</math>; <math>p = 6</math>; <math>V = 48</math>.                  Технологии автоматизации развиваются быстро, слабые стороны и угрозы могут в ближайшее время свестись к минимуму.</p>	<p><b>Угрозы U = 105</b></p> <p>1. Рост цен на энергоносители <math>z = 9</math>; <math>p = 7</math>; <math>V = 63</math>.                  Увеличенные затраты на электроэнергию по сравнению с традиционными системами отопления и вентиляции.</p> <p>2. Сложность изменения системы отопления при изменении конструктива здания <math>z = 7</math>; <math>p = 6</math>; <math>V = 42</math>.                  Необходима отдельная оценка возможности доработки системы отопления при изменении конструктивных элементов здания.</p>

Составлено авторами





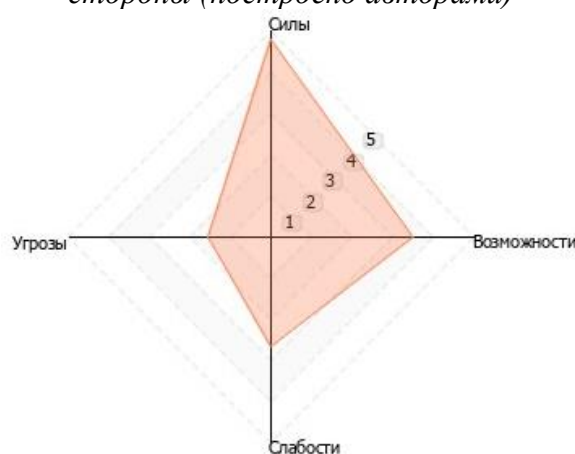
**Рисунок 6.** Сильные стороны (построено авторами)



**Рисунок 7.** Слабые стороны (построено авторами)



**Рисунок 8.** Возможности (построено авторами)



**Рисунок 9.** Общая диаграмма (построено авторами)

На рисунках 6–9 представлены диаграммы SWOT-анализа, позволяющие наглядно оценить все стороны системы воздушного отопления. Угрозы не представлены в связи с их низким общим показателем.

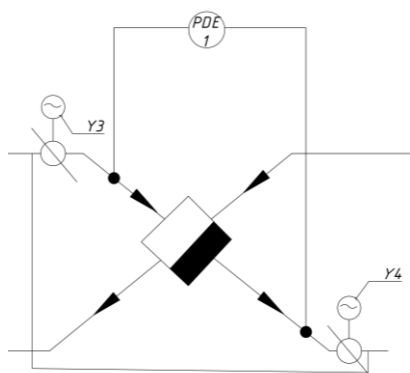
Практика показывает, что для улучшения системы работы воздушного отопления, снижения издержек и достижения благоприятных параметров микроклимата помещения необходимо использование автоматизации управления всеми параметрами системы. Для ликвидации недостатков необходимо внедрение АСУ отоплением, которая хоть и увеличивает полную стоимость системы отопления на этапе строительства, но в тоже время за счёт многих веских преимуществ позволяет обеспечить значительную экономию при ее эксплуатации, что, безусловно, обеспечивает целесообразность её внедрения [11–15].

Рассмотрим автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП). Технологическим процессом является тепловой процесс воздушного отопления. Особенности АСУ отоплением: (1) Датчики и измерительные приборы. Датчики температуры, влажности, давления и др. используются для контроля и измерения различных параметров среды при воздушном отоплении, они помогают системе автоматически реагировать на изменения внешних условий и «подстраиваться» под требования комфорта и энергосбережения. (2) Автоматическое регулирование. С помощью автоматических регуляторов и программных контроллеров, система отопления может автоматически регулировать скорость и температуру воздушного потока, включать и выключать обогревательные элементы и контролировать работу вентиляционных систем, что позволяет

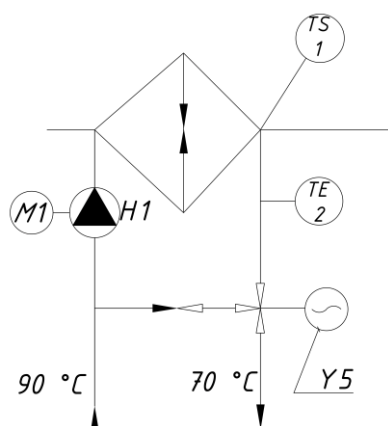
системе поддерживать стабильные условия отопления, экономить энергию и предотвращать перегрев или переохлаждение помещений. (3) Интеграция с «умными» системами. Система автоматизации воздушного отопления может быть интегрирована с другими «умными» системами управления зданием, что позволяет управлять процессом отопления удаленно с помощью смартфонов или планшетов, а также настраивать графики работы системы отопления в соответствии с графиками присутствия людей в помещениях или погодными условиями. (4) Энергоэффективность. Автоматизация воздушного отопления обеспечивает более эффективное использование энергии и ресурсов за счёт оптимизации работы оборудования системы и установки экономичных настроек. Система может автоматически регулировать свою работу в зависимости от внешних условий и активности в помещении во избежание излишнего потребления энергии [2; 5; 14; 15].

Более подробно остановимся на основных компонентах автоматизированной системы воздушного отопления: датчики, контроллеры и исполнительные механизмы. Система управления включает в себя микропроцессор, датчики температуры, панель управления и другие элементы. Она обеспечивает автоматическое управление процессом для поддержания комфортной температуры в помещении без вмешательства пользователя. Автоматизированная система воздушного отопления включает контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации, например, датчики для измерения и контроля показателей температуры, влажности, давления и другие, что позволяет системе обеспечивать оптимальные параметры микроклимата при отоплении помещений. Контроллеры и программируемые контроллеры логики используются для управления системой отопления на основе информации, полученной от датчиков, они выполняют ряд функций, включая, анализ данных, принятие решений по регулированию работы системы отопления. Для обеспечения передачи данных между компонентами системы и облегчения их взаимодействия, а также в целях получения нужной информации для оптимального управления системой отопления — используются коммуникационные средства: проводные и беспроводные соединения [11; 13–15].

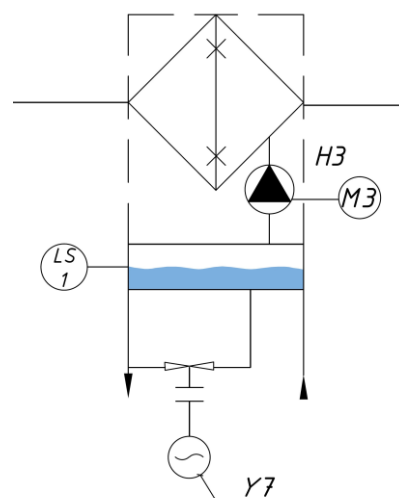
Далее фрагментарно (рис. 10–12) разберем основные элементы функциональной схемы автоматизации теплового технологического процесса отопления здания (ФСА) [14]. Полная функциональная схема автоматизации объекта управления и алгоритмы работы оборудования находятся на данный момент в разработке и будут представлены в последующих статьях, а результаты исследований в магистерской диссертации.



**Рисунок 10.** ФСА рекуператора (построено авторами)



**Рисунок 11.** ФСА первичного калорифера (построено авторами)



**Рисунок 12.** ФСА сотового увлажнителя (построено авторами)

На рисунке 10 изображён фрагмент ФСА пластинчатого рекуператора [14]. Для контроля перепада давления устанавливают реле перепада давления (PDE1). При возникновении высокого давления датчик срабатывает и отправляет сигнал на контроллер, заслонки (Y3 и Y4) изменяют свое положение так, чтобы снизить зафиксированное давление. В зимнее время года легко отследить работоспособность рекуператора и, при необходимости, снизить на него нагрузку за счет пропуска части воздушных масс через байпас, в противном случае, устройство может замерзнуть, что приведет к аварии всей системы в целом.

На рисунке 11 представлен фрагмент ФСА первичного калорифера [14]. В таких системах обычно устанавливают два калорифера. Первый калорифер нагревает холодный воздух, а второй — догревает воздух после увлажнителя. Работа автоматики осуществляется с помощью капиллярного термостата (TS1) и погружного датчика обратки (TE2). Капиллярный термостат реагирует на понижение температуры воздуха в калорифере (ниже 5°C) и направляет дискретный сигнал на остановку системы при низких температурах. Датчик температуры на обратке необходим во избежание возникновения точки росы и для поддержания необходимой температуры обратки при отключении калорифера. Работа второго калорифера схожа с первым. Различие заключается только в отсутствии у второго капиллярного термостата, так как в этой части системы уже не может быть обмерзания и нет необходимости в контрольном устройстве. На рисунке 12 представлен фрагмент ФСА сотового увлажнителя [14]. С помощью трубопровода из системы холодного водоснабжения (ХВС) подается вода для сотового увлажнителя. Циркуляционный насос регулирует подачу воды, а обратный трубопровод позволяет убрать лишнюю влагу из увлажнителя. В приточном трубопроводе сотового увлажнителя устанавливается поплавковый клапан для заполнения водосборника, из которого уже насос увлажнителя забирает воду для смачивания поверхности сот. Когда уровень воды в водосборнике достигает критического верхнего значения, для слива лишней воды применяется двухходовой клапан (Y7) в его обвязке, который открывается при срабатывании поплавкового датчика уровня жидкости (LE1). Уровень влажности на сотовом увлажнителе устанавливается на основе показаний датчиков влажности после вентилятора притока и в обслуживаемых помещениях [14; 15].

## Результаты расчётов

При разработке функциональной схемы автоматизации теплового технологического процесса отопления здания авторами проведен технико-экономический анализ внедрения системы автоматизации. Для проведения расчетов в качестве тестового объекта взято вновь строящееся здание площадью 1 000 квадратных метров без возможности подсоединения к газовым сетям, т. е. система воздушного отопления для своего функционирования будет использовать электроэнергию. Среднемесячные температуры взяты для Московской области.

Таблица 2

### Итоговая оценка эффективности внедрения АСУ

Показатель	Значение
Капитальные вложения, млн руб.	7,2
Приведенный денежный поток (NPV), млн руб.	2,3
Простой срок окупаемости (РВ), лет	3,6
Дисконтированный срок окупаемости (DPB), лет	4,9
Внутренняя норма рентабельности (IRR), %	31,5

Составлено авторами

Внедрение АСУ позволило за счет оптимизации работы оборудования снизить затраты на электроэнергию до 30 %, а также дало возможность значительно повысить уровень комфорта в помещениях за счет снижения уровня шума при эксплуатации оборудования. В результате построения финансово-экономической модели получены итоговые результаты оценки эффективности внедрения АСУ (табл. 2).

При этом дополнительные расчеты показывают, что при отсутствии возможности подключения к газовым сетям и/или централизованным системам водяного отопления, финансово-экономические последствия от применения воздушного отопления сопоставимы с последствиями от внедрения индивидуального водяного отопления, работающего на электроэнергии.

### **Выводы**

Подводя итоги, можно сделать вывод, что использование технологии воздушного отопления зданий становится экономически оправданным при одновременном внедрении автоматизированной системы управления данным процессом. Реализация подобных проектов имеет ряд существенных преимуществ и экономически оправдано в целом ряде проектных вариантов. Кроме этого, необходимо учесть и тот факт, что помимо стоимостного экономического эффекта за счет экономии затрат на эксплуатацию системы, аналогичные проекты имеют положительную экологическую составляющую за счет внедрения альтернативных источников энергии, в частности ВИЭ. А это, естественно, влечет за собой улучшение качества параметров микроклимата здания, а также способствует улучшению условий труда и отдыха людей при пребывании в нём.

### **Результаты и обсуждение**

В результате проведённого сравнения вариантов технологий отопления и автоматизации тепловых процессов, SWOT-анализа мы выяснили, что, несмотря на выявленные недостатки, целесообразнее рекомендовать внедрение системы автоматизации воздушного отопления для административных зданий, гражданских объектов, частных жилых домов. Проведённый расчёт показал, что такие системы в среднем окупаются в течение трёх — четырёх лет. Для сопоставления — системы автоматизации приточно-вытяжной вентиляции окупаются в среднем за аналогичный период, но при этом имеют гораздо больше недостатков при их эксплуатации, а системы автоматизации водяного отопления с тепловым пунктом имеют срок окупаемости от четырёх лет и более. При грамотном использовании технологии воздушного отопления проект в большинстве случаев будет прибыльным за счет внедрения АСУ ТП. Хотя инвестиционные вложения в рекомендуемый вариант примерно в два раза выше, чем, например, в вариант автоматизации приточно-вытяжной вентиляции, но это не будет являться большим минусом за счет перевеса преимуществ и лучших функциональных возможностей системы. Срок службы системы варьирует в диапазоне от двенадцати до шестнадцати лет, но при этом нет необходимости заменять полностью всю систему сразу. Информация, полученная от «умных» датчиков, подскажет персоналу о необходимости проверки или замены элементов установки, что может в итоге увеличить срок службы установки почти в два раза [5; 9; 14; 17].

Актуальная на сегодня задача, озвученная на государственном уровне — энергосбережение и повышение энергоэффективности в РФ. Добиться экономии электроэнергии и теплоэнергии в здании можно различными способами, например, использовать тепловые насосы, можно с помощью внедрения АСУ ТП здания, охватывающей функционирование всех инженерных систем объекта, а также путём комбинированного

использования традиционных технологий и технологий с применением альтернативных источников энергии [17–20].

Стоит отметить и развитие систем «умный» дом, которые интегрируют все инженерные системы в одну единую систему централизованного управления. Автоматизация воздушного отопления может быть использована в системе «умного» дома для управления температурой и влажностью в помещении. Системы воздушного отопления имеют большой потенциал и могут быть интегрированы с другими инженерными системами, например, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Оптимизация энергопотребления, повышение энергоэффективности зданий — важные, ключевые задачи, требующие решения, способствующие устойчивому развитию экономики города. АСУ инженерными системами здания призвана обеспечить решение поставленных задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасов А.С., Сияк Ю.В., Воронина С.А., Семикашев В.В. Современное состояние теплоснабжения России // Отрасли и межотраслевые комплексы. [Электронный ресурс]. URL: [<https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-teplosnabzheniya-rossii/viewer>] (дата обращения 15.10.2023).
2. Грибков И.Н., Лыков А.Н. Анализ систем отопления и перспективы автоматизации // Пермский национальный исследовательский политехнический университет. — 2012. [Электронный ресурс]. URL: [<https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sistem-otopleniya-i-perspektivy-avtomatizatsii/viewer>] (дата обращения 19.10.2023).
3. Michal Krajčík, Müslüm Arıcı, Zhenjun Ma, Trends in research of heating, ventilation and air conditioning and hot water systems in building retrofits: Integration of review studies, Journal of Building Engineering, Volume 76, 2023, 107426, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.107426>, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710223016066>).
4. Корнилов А.А. Воздушное отопление, как современная система отопления жилых домов и общественных зданий // Вестник магистратуры. — 2018. № 1-3(76). [Электронный ресурс]. URL: [<https://cyberleninka.ru/article/n/vozdushnoe-otoplenie-kak-sovremennaya-sistema-otopleniya-zhilyh-domov-i-obschestvennyh-zdaniy/viewer>] (дата обращения 15.09.2023).
5. Тепляков А.А. Автоматизация и диспетчеризация систем вентиляции // East European Scientific Journal. — 2018. № 5(33). [Электронный ресурс]. URL: [<https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-i-dispetcherizatsiya-sistem-ventilyatsii/viewer>] (дата обращения 25.09.2023).
6. Timothy O'Grady, Heap-Yih Chong, Gregory M. Morrison, A systematic review and meta-analysis of building automation systems, Building and Environment, Volume 195, 2021, 107770, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107770>, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132321001773>).
7. Журиха А.М. Воздушное отопление помещений / А.М. Журиха. — Текст: непосредственный // Техника. Технологии. Инженерия. — 2017. — № 2(4). — С. 71–74. [Электронный ресурс]. URL: [<https://moluch.ru/th/8/archive/57/1883/>] (дата обращения: 09.10.2023).



8. Тиханова М.М. О целесообразности применения воздушного отопления для производственных зданий / М.М. Тиханова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 15(305). — С. 164–165. [Электронный ресурс]. URL: [<https://moluch.ru/archive/305/68768/>] (дата обращения: 01.10.2023).
9. Никишина И.Д. Эффективность воздушного отопления жилого дома // Международный научный журнал «Вестник науки». — 2023. № 4 (61). [Электронный ресурс]. URL: [<https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-vozdushnogo-otopleniya-zhilogo-doma/viewer>] (дата обращения: 01.10.2023).
10. Изосимов С.В., Шевченко А.Л. Метод SWOT-анализа: его место в методах исследования, преимущества и недостатки // Экономикс. — 2013. — № 2.
11. L. Vandenbogaerde, S. Verbeke, A. Audenaert, Optimizing building energy consumption in office buildings: A review of building automation and control systems and factors influencing energy savings, Journal of Building Engineering, Volume 76, 2023, 107233, ISSN 2352–7102, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107233>, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710223014134>).
12. Narges Zaeri, Araz Ashouri, H. Burak Gunay, Tareq Abuimara, Disaggregation of electricity and heating consumption in commercial buildings with building automation system data, Energy and Buildings, Volume 258, 2022, 111791, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111791>, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821010756>).
13. L. Van Thillo, S. Verbeke, A. Audenaert, The potential of building automation and control systems to lower the energy demand in residential buildings: A review of their performance and influencing parameters, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 158, 2022, 112099, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112099>, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122000296>).
14. Новиков В.С. Автоматизация систем отопления // Динамика систем, механизмов и машин. — 2014. № 1. [Электронный ресурс]. URL: [<https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-sistem-otopleniya/viewer>] (дата обращения: 20.10.2023).
15. Панкратов В.В., Колубков А.Н., Шилкин Н.В. Системы автоматизации и диспетчеризации высотных жилых комплексов // АВОК. [Электронный ресурс]. URL: [[https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2857](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2857)] (дата обращения: 18.10.2023).
16. Ищенко В.А., Закируллин Р.С. Анализ энергосбережения при применении системы панельно-лучистого отопления в составе автономного теплоснабжения жилых и общественных зданий в России // Шаг в науку. — 2022. № 1. [Электронный ресурс]. URL: [<https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-energoberezheniya-pri-primenении-sistemy-panelno-luchistogo-otopleniya-v-sostave-avtonomnogo-teplosnabzheniya-zhilyh-i/viewer>] (дата обращения: 18.10.2023).
17. Волович Г.И., Кирпичникова И.М., Соломин Е.В., Топольский Д.В., Топольская И.Г. О развитии средств автоматизации в энергетике с использованием возобновляемых источников энергии // Альтернативная энергетика и экология. — 2013. № 09(131). [Электронный ресурс]. URL: [<https://cyberleninka.ru/article/n/o-razviti-sredstv-avtomatizatsii-v-energetike-s-ispolzovaniem-vozobnovlyаемых-istochnikov-energii-1/viewer>] (дата обращения: 07.10.2023).

18. Guofeng Qiang, Shu Tang, Jianli Hao, Luigi Di Sarno, Guangdong Wu, Shaoxing Ren, Building automation systems for energy and comfort management in green buildings: A critical review and future directions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 179, 2023, 113301, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113301>, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123001570>)
19. Панферов В.И. Об экономии теплоты при автоматизации систем отопления зданий // Инженерное оборудование зданий и сооружений. — 2016. № 16. [Электронный ресурс]. URL: [<https://cyberleninka.ru/article/n/ob-ekonomii-teploty-pri-avtomatizatsii-sistem-otopleniya-zdaniy/viewer>] (дата обращения: 10.10.2023).
20. Николаев Е.Е. Исследование возможности энергоэффективности зданий за счет применения автоматизированных систем отопления и вентиляции // Инновационная наука. — 2018. № 12. [Электронный ресурс]. URL: [<https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozmozhnosti-povysheniya-energoeffektivnosti-zdaniy-za-schet-primeneniya-avtomatizirovannyh-sistem-otopleniya-i/viewer>] (дата обращения: 07.10.2023).

## Shilkina Svetlana Vyacheslavovna

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia  
E-mail: Shilkina@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7279-7026>

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAD-4261-2022>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57192381648>

## Ivanova Olga Vyacheslavovna

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia  
E-mail: oxolyi@mail.ru

# Automation of air heating systems of buildings

**Abstract.** For Russia, with its relatively long and cold winter, an important role is played by energy-efficient systems for the production of thermal energy, methods of its transportation with minimal losses and technologies of economical consumption. The main consumers of heat in the housing and communal complex and urban construction sector are residential, public buildings, civil, industrial and industrial facilities. Energy saving in buildings is directly related to the introduction of energy-efficient heat supply systems. At the same time, an important role is given to automation of systems, since it allows not only to increase the efficiency of heating systems, to control the most important parameters of the microclimate, such as temperature, humidity, CO<sub>2</sub> content, to increase comfort for users, but also to reduce the cost of electrical and thermal energy, to improve the environment. Automation of the air heating system involves the use of various means of automatic control and management: sensors, controllers and others. The installation can be controlled automatically without direct human intervention. The introduction of such systems makes it possible to reduce the number of unforeseen emergencies, monitor the course of all processes in real time, optimize the operation of equipment and increase the energy efficiency of the installation. In addition, automated building engineering systems can be easily integrated into the building's automated control system, and this is another step towards the digital transformation of the city's economy, saving resources, and the transition from a «smart» home to a «smart» city. The article provides an overview of technological and technical solutions, discusses technologies and means of automation of heating systems. The authors of this material present the results of a SWOT analysis of factors for the automation system of the heating process of buildings, give recommendations on the use of air heating technology, substantiate the introduction of an automated thermal process control system. This article is part of the authors' research in the field of automation of heat supply systems, ventilation and air conditioning of buildings, the collected material is planned to be presented in the master's thesis.

**Keywords:** building heating technologies; microclimate; air heating; automated control system; smart house; energy saving; energy efficiency