

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

2020, №5, Том 12 / 2020, No 5, Vol 12 <https://esj.today/issue-5-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/32SAVN520.pdf>

DOI: 10.15862/32SAVN520 (<http://dx.doi.org/10.15862/32SAVN520>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Коуркин С.В., Чулков В.О. Рациональный выбор ограждающих конструкций жилого строения, как киберфизических систем, по критерию энергоэффективности // Вестник Евразийской науки, 2020 №5, <https://esj.today/PDF/32SAVN520.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/32SAVN520

For citation:

Kourkin S.V., Chulkov V.O. (2020). Rational choice of enclosing structures of residential buildings, as cyber-physical systems, according to the criterion of energy efficiency. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(12). Available at: <https://esj.today/PDF/32SAVN520.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/32SAVN520

УДК 72

Коуркин Сергей Владимирович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Москва, Россия
Студент-магистрант кафедры «Технологии и организации строительного производства»
E-mail: sergey021097@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4377-9312>

Чулков Виталий Олегович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Москва, Россия
Профессор кафедры «Технологии и организации строительного производства»
Преподаватель
Доктор технических наук
E-mail: vitolch@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7059-2310>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=678864

Рациональный выбор ограждающих конструкций жилого строения, как киберфизических систем, по критерию энергоэффективности

Аннотация. В статье рассматривается вопрос энергоэффективности ограждающих конструкций и жилых зданий в целом. Так как рассматриваемый вопрос поднимается в XXI веке, то для его рассмотрения и более детального изучения, автор обращается к киберфизическим системам, которые на данный момент времени в России, по сравнению с зарубежными странами, находятся на начальном пути становления, что позволяет оперативно и полномасштабно интегрировать новые оригинальные отечественные разработки и дают возможность в режиме реального времени считывать показатели теплопотерь с датчиков, которые будут установлены на рассматриваемые ограждающие конструкции с целью повышения надёжности и энергоэффективности.

Автор прибегает к теоретическому уровню научного познания, который связан с преобладанием мыслительной деятельности, с осмыслением эмпирических материалов и их сравнением. С целью сравнения показателей энергоэффективности автор приводит показатели России, а также зарубежных стран.

В статье акцентируется внимание на огромных теплопотерях жилых зданий через ограждающие конструкции, в результате которых значительно повышается потребление условного топлива и энергии. Вышеуказанный фактор заставляет задуматься о более рациональном выборе ограждающих систем и создания единого воздухонепроницаемого контура.

Автор статьи приводит различные виды фасадных систем (традиционные, штукатурные, вентилируемые, светопрозрачные и адаптивные фасадные системы), которые рассматриваются с точки зрения энергоэффективности и трудоёмкости при монтаже. Основным критерием которых является теплотехнический расчёт, выполняемый в соответствии с действующими нормами, на основании которого определяются эксплуатационные затраты и срок окупаемости.

Ключевые слова: энергоэффективный дом; теплопотери; ограждающие конструкции; фасадные системы; киберфизические системы

Введение

В нынешних реалиях при проектировании и, непосредственно, возведении новых жилых зданий и сооружений, должное внимание уделяется требованиям энергоэффективности рассматриваемых строений в соответствии с Федеральным законом¹.

Помимо быстрого возведения новых объектов в больших количествах, необходимо эксплуатировать сооружения правильным образом, то есть в соответствии с его первоначальным назначением, а также производить своевременные ремонты, реконструкции и облагораживания прилегающих к объекту территорий [1]. Нарушение вышеперечисленных факторов привело к тому, что удельные затраты топлива в жилищной сфере достигли 87–89 кг условного топлива на 1 м² в год. Данный показатель в 3,5 раза выше, чем в Канаде и Норвегии при практически идентичных климатических условиях [2].

В соответствии с представленными данными [3], по энергопотреблению Россия также выходит вперёд по сравнению с Канадой и Норвегией. В то время, как в России на 1 м² жилого строения приходится в среднем 360 кВт-ч/м², в Канаде тратится 207 кВт-ч/м², а в Норвегии до 170 кВт-ч/м² (рис. 1).

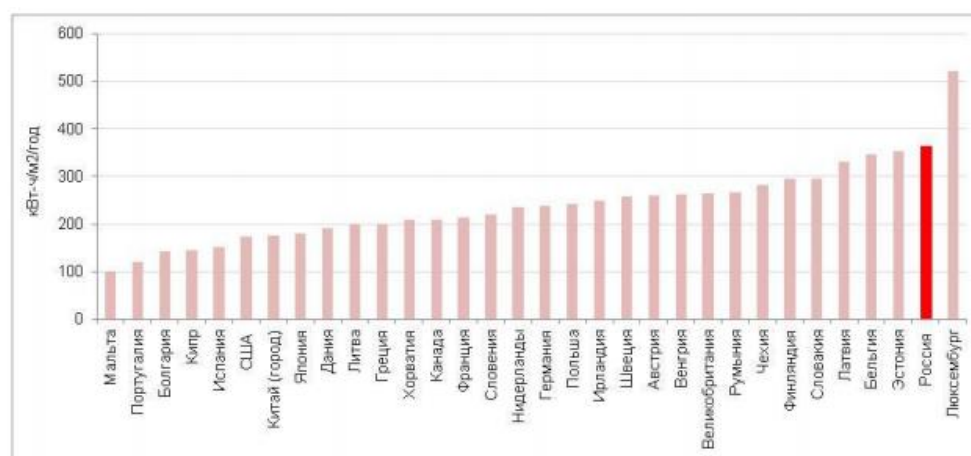


Рисунок 1. Удельный расход энергии в жилых зданиях (https://www.abok.ru/for_spec/articles/30/6110/3.jpg)

¹ Федеральный закон № 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности Российской Федерации" (23.11.2009). Принят Государственной Думой 11.11.2009 г.

Обращаясь к приведенным данным, необходимо держать на контроле тот факт, что они не учитывают влияние таких факторов, как: этажность, структура жилого фонда, обеспеченность приборами быта, их мощностей и так далее.

Приведенная информация указывает на огромные теплотери в результате отсутствия единой воздухопроницаемой оболочки. Данное явление приводит к огромному потреблению условного топлива и энергии, что заставляет задуматься о рациональном выборе ограждающих конструкций с целью снижения затрат на обслуживание жилого фонда и повышения его энергоэффективности от 50 до 70 %.

1. Энергоэффективный дом

Энергоэффективный дом характеризуется как здание с минимально возможными теплотерями, которому присущи следующие свойства: высокие показатели теплозащиты и почти полное отсутствие мостиков холода; приточно-вытяжная механическая вентиляция; преимущественно южная ориентация жилых помещений; почти полностью воздухопроницаемая оболочка здания и тепловой баланс внутренних помещений [4].

Огромное внимание следует уделить тому факту, что энергоэффективный дом, возведённый в северном климате, не будет являться энергоэффективным в южных климатических условиях. Данный фактор выделяет индивидуальность проектирования таких строений.

Переход к энергоэффективным зданиям преследует экономические, экологические и социальные задачи, для достижения которых прибегают к оптимизации толщины и составных слоёв ограждающих конструктивных элементов и применению экологического сырья, что позволит снизить воздухопроницаемость, повысить теплоизоляцию стен, создать неразрывный контур теплоизоляции и уменьшить затраты на поставку необходимых ресурсов [5].

2. Теплотери

В результате практических наблюдений было выявлено, что в зимний период времени около 40 % тепловой энергии расходуется на обогрев воздуха со стороны улицы. Из этих теплотерей порядка 40 % приходится на стены, на окна и двери – 20 %, а также на кровлю и подвал с системой вентиляции также по 20 %, поэтому для снижения теплотерей необходим комплексный подход. В соответствии с приведёнными данными наибольшие усилия необходимо направить на снижение потерь тепловой энергии через стены, что на практике осуществить довольно сложно в связи с тем, что большинство тепла приходится на «мостики холода» [6].

Чаще всего для снижения теплотерей через стены прибегают либо к созданию неразрывного контура теплоизоляции, за счёт утепления ограждающих конструкций, либо к использованию теплоизоляции, которая сохраняет свои качества длительный промежуток времени.

Способы повышения энергоэффективности ограждающих конструкций напрямую зависят от их конструктивных систем, которые в свою очередь классифицируются на подсистемы [7].

3. Фасадные конструктивные системы

К основным видам фасадных систем относятся: традиционные, штукатурные, вентилируемые и светопрозрачные фасадные системы.

Наиболее широко применяемыми, среди традиционных систем, являются те, в которых несущие стены выполняют параллельно и функцию теплоизоляции, а фасадный слой, который чаще всего устраивается из клинкерного кирпича, служит для создания декоративной выразительности и защиты от неблагоприятных воздействий внешних климатических условий.

К штукатурным конструктивным системам относятся фасадные композиты (однослойные или многослойные), которые защищены штукатурными составами от неблагоприятного воздействия от внешних климатических условий, которые, помимо защиты, предназначены для устройства гладкой поверхности, которая необходима для последующей декоративной (защитно-декоративной) окраски. Возможно применение легких водоотталкивающих штукатурок, а также толстых, противовандальных (армированных сеткой).

К вентилируемым фасадным системам относятся конструктивные системы, которые состоят из облицовочных плитных и листовых материалов и подоблицовочной структуры, крепление к стене которой осуществляется таким способом, чтобы обеспечить вентилируемую воздушную прослойку между облицовкой и стеной.

В результате разницы в температурах внутренних помещений и внешней окружающей среды, образующийся тепловой поток направлен от нагретой среды к холодной. Проблема миграции пара в рассмотренной конструктивной системе решается за счёт образованного воздушного зазора между утеплителем и облицовкой, за счёт которого наружный воздух соприкасается с наиболее нагретой поверхностью утеплителя, нагревается и начинает подниматься вверх. Этот процесс предотвращает конденсацию пара, вследствие чего, препятствует образованию пара.

К светопрозрачным системам относится интеграция всех фасадных элементов, которые обладают способностью пропускать свет. Они классифицируются по характеристикам теплопотерь, способам крепления элементов системы между собой, а также крепления к основным конструктивным элементам, по способу монтажа и так далее.

Помимо вышеперечисленных также встречаются адаптивные фасадные системы, которые были образованы в результате инновационного подхода к обеспечению энергоэффективности жилого фонда. Основным отличием таких фасадных систем является возможность реагировать на изменения внешних климатических условий. Иными словами, нововведение заключается в возможности рассматриваемой конструктивной системы накапливать и преобразовывать энергию внешней среды.

В результате возникновения адаптивных конструктивных систем преобразится не только подход к ограждающим конструкциям, но и преобразится внешний вид городов.

4. Техничко-экономическое обоснование

Особого внимания всегда требовали мероприятия, деятельность которых была направлена на повышение энергоэффективности ограждающих конструкций, за счёт снижения теплопотерь (путём создания непрерывной воздушной оболочки) и повышения уровня тепловой защиты не только с конструктивной и проектной точки зрения, но со стороны экономического обоснования.

Для соблюдения требований энергоэффективности ограждающих конструкций пришлось пересмотреть существовавшие принципы проектирования с целью достижения необходимого теплоизоляционного эффекта. Изменения также коснулись и инвестиционной политики [8].

Для того, чтобы принятые решения окупались, необходимо определить эксплуатационные затраты, а затем просчитать срок окупаемости [9]. Не зависимо от конструктивной системы фасада, расчёт ведётся по одинаковым формулам, с целью сравнения результирующих расчётов и определения наиболее целесообразной, для рассматриваемого климатического района, фасадной системы.

Расчёт эксплуатационных затрат:

1. Определяем значение коэффициента теплопередачи ограждающей конструкции:
 $U = \frac{1}{R_0}$, где R_0 – расчётное сопротивление ограждающей конструкции, принимаемое в зависимости от градусо-суток относительного периода (ГСОП).
2. Суммарные потери тепловой энергии через m^2 ограждающей конструкции определяются по формуле: $Q = \frac{U \cdot (t_b - t_{от}) \cdot z_{от} \cdot 24}{1000}$, где t_b – температура воздуха в помещениях жилого здания; $t_{от}$ – средняя за отопительный период температура наружного воздуха; $z_{от}$ – количество суток отопительного периода.
3. В итоге определяем эксплуатационные затраты: $\mathcal{E} = Q \cdot c_T$, где c_T – величина тарифа.

Определив эксплуатационные затраты каждой, из рассматриваемых конструктивных фасадных систем переходим к расчёту срока окупаемости.

Расчёт сроков окупаемости:

1. Капитальные и эксплуатационные затраты на фасадные конструктивные системы: $\Pi_1 = K_1 + \mathcal{E}_1 \cdot T$ и $\Pi_2 = K_2 + \mathcal{E}_2 \cdot T$, где K_1 – капитальные затраты, необходимые для возведения m^2 ограждающей конструкции, руб./ m^2 ; K_2 – то же, на дополнительное утепление, руб./ m^2 ; \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 – эксплуатационные затраты до и после проведения утепления, соответственно, руб./ $m^2 \cdot \text{год}$; T – время, год.

Для окупаемости необходимо выполнение условия $\Pi_1 = \Pi_2$.

2. Исходя из выше представленного условия, срок простой окупаемости определяется следующим образом: $T = \frac{K_2}{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}$.

Полученное значение будет являться оценочным в результате отсутствия учёта таких параметров, как изменение ценовой политики тарифов на тепловую энергию, наличия кредитов (а точнее наличие процентов в соответствии с процентной ставкой), а также дисконтирования денежных вложений.

Анализируя и сопоставляя полученные ранее результаты определяем наиболее рациональную конструктивную фасадную систему для рассматриваемого климатического района.

5. Киберфизические системы

Определение киберфизической системы неразрывно связано с кибернетикой, которая занимается изучением общих закономерностей процессов управления и передачи информации в технических, биологических, а также общественных и других системах [10].

Различают прикладную и теоретическую кибернетику. Киберфизические системы в строительстве относятся к прикладной кибернетике, которая занимается изучением природы физико-биологического познания.

В киберфизических системах происходит взаимодействие между, считывающими различные показатели, датчиками, которые позволяют производить мониторинг киберфизических показателей, с вычислительными и исполнительными элементами, основной целью которых является внесение изменений в заданную киберфизическую среду [11].

Данный тип систем направлен на объединение информации, которая поступает с установленных на объект исследования датчиков с целью повышения понимания среды и улучшения точности выполнения прописанных действий.

Благодаря непрерывному развитию, рассматриваемые системы дают возможность в режиме реального времени считывать показатели теплотерь с датчиков, которые будут установлены на рассматриваемые ограждающие конструкции с целью повышения надёжности и энергоэффективности [12].

Сущность киберфизической системы в оценке энергоэффективности заключается в следующем: на поверхности рассматриваемой ограждающей конструкции, находящейся в условиях эксплуатации, либо же в специальной климатической камере, а также в воздушных средах, соприкасающихся с ограждающей конструкцией, устанавливаются температурные датчики, которые в течении установленного промежутка времени ведут считывание тепловых параметров [13].

Плотность тепловых потоков, пронизывающих рассматриваемую ограждающую конструкцию, измеряется с помощью преобразователя, который называется тепломером. Тепломер представляет из себя тонкую пластину, которая хорошо сопротивляется температурным перепадам. Внутри пластины располагаются термоэлектрические датчики, которые последовательно соединены между собой [14] (рис. 2).

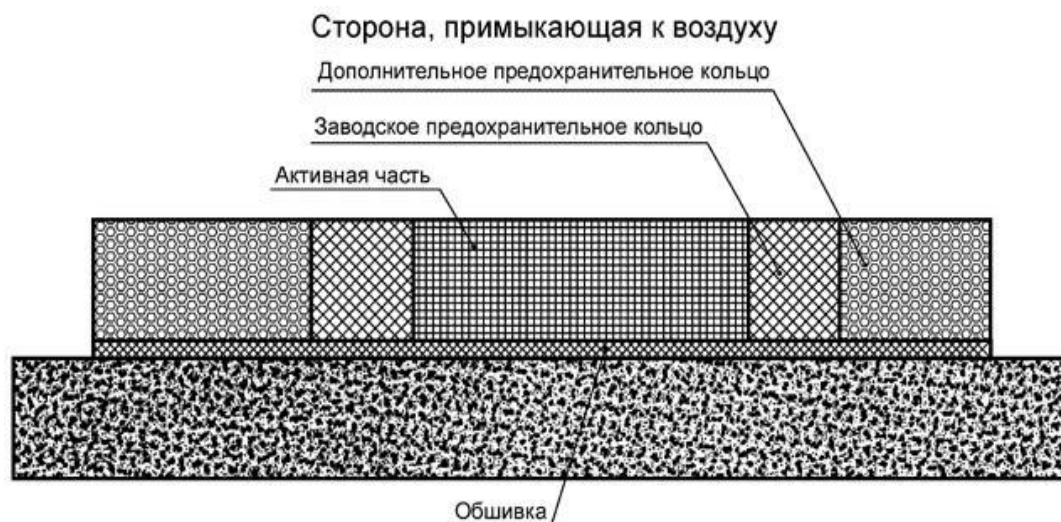


Рисунок 2. Разрез тепломера, расположенного на конструкции
(https://dikipedia.ru/sites/default/files/doc_files/514/675/4/files/image14.jpg)

Помимо преобразователей применяют и воздушные датчики, целью которых служит определение температуры окружающей среды.

Также для определения температурного поля поверхности ограждающих конструкций используют тепловизоры, которые автоматически сохраняют инфракрасное и реальное изображение в памяти устройства.

После получения всех необходимых параметров все данные переносятся на компьютер, для детального изучения, исключения ручного расчёта и наблюдения, с помощью специального программного обеспечения [15]. Оно позволяет легко и точно произвести анализ инфракрасного изображения, а также определить коэффициенты излучения различных материалов и произвести теплотехнический расчёт с составлением полного отчёта в соответствии с требованиями DIN EN².

Вывод

Научно-технический прогресс обеспечивает взаимосвязь физических и вычислительных компонентов деятельности в системе ЧТС «человек-техника-среда», основываясь на интеллектуальном управлении.

Применение киберфизических систем будет являться рациональным при разборе многоступенчатых задач и использовании сложных распределительных систем.

В «умных домах» комплексная работа интеллектуальных устройств в совокупности с киберфизическими системами даст возможность существенно увеличить безопасность и защищенность, снизить энергопотребление и создать более комфортные условия для проживания будущих жильцов. Таким образом, киберфизические системы могут поддерживать мониторинг энергопотребления и функционирование систем регулирования для воплощения концепции дома с «нулевым» потреблением электроэнергии. Помимо этого, киберфизические системы можно использовать с целью определения степени ущерба для зданий, который был причинён в результате непредвиденных событий, а также предотвращения разрушения конструкций.

Следует отметить, что необходимо совершенствование рассматриваемых систем за счёт разработки новых математических методов квазипараллельных вычислений.

² DIN EN 13187-1999 Качественное обнаружение тепловых неоднородностей в ограждающих конструкциях зданий – Инфракрасный метод (ISO 6781:1983, измененный). Принят 01.05.1999 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chulkov V.O. Modeling of digitalization of management in cyber-physical systems of reorganization of residential territories. – *Advances in Economics, Business and Management Research*, volume 105. – 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019). – pp. 640–648.
2. Зильберова И.Ю. Модернизация зданий с целью повышения энергоэффективности, комфорта и безопасности проживания, а также продления срока эксплуатации жилых зданий [Электронный ресурс] / Зильберова И.Ю., Петрова Н.Н. // *Инженерный вестник Дона*. – 2012. – №4 (часть 1). – Ростов н/Д.: Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1120>.
3. Башмаков И.А. Сравнение уровней энергоэффективности зданий в России и зарубежных странах [Электронный ресурс] / Сравнение уровней эффективности использования энергии в жилых зданиях // *АВОК*. – 2015. – №3. – М.: НП АВОК, 1991. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6110, свободный. – Загл. с экрана.
4. Табунщиков Ю.А. Энергетически пассивный многоэтажный жилой дом [Электронный ресурс] / Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. // *АВОК*. – 2013. – №1. – М.: НП АВОК, 1991. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5432, свободный. – Загл. с экрана.
5. Абрамян С.Г. К вопросу об энергетической эффективности зданий и сооружений [Электронный ресурс] / Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. // *Инженерный вестник Дона*. – 2017. – №1. – Ростов н/Д.: Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3993>, свободный. – Загл. с экрана.
6. Lee E.A. The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Model Cheng AMK, ed. // *Sensors (Basel)*. Vol. 15(3), March, 2015, 4837–4869.
7. Захаров А.В. Энергоэффективные конструкции в строительстве [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / А.В. Захаров, Е.Н. Сычкина, А.Б. Пономарев. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – 103 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Windows XP и выше; программа для просмотра PDF-файлов; привод CD-ROM.
8. Чулков В.О., Шилина Е.Н. Проектирование жилой застройки в условиях реновации жилищного фонда с учетом организационных и технологических критериев // *Вестник Евразийской науки*, 2019 №2, <https://esj.today/PDF/104SAVN219.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
9. Немова Д.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Кашабин А.В., Рымкевич П.П., Цейтин Д.Н. Технико-экономическое обоснование мероприятий по утеплению ограждающих конструкций индивидуального жилого дома // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 8(23). С. 93–115. DOI: 10.18720/CUBS.23.7.
10. Losev K.Yu., and others (2017) Infography use to requirements specification for the design of the building EMMFT 2017 IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 90 (2017) 012197. 5 p. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012197.

11. Чулков В.О., Коуркин С.В. Энергоэффективные вентилируемые ограждающие конструкции // Дни студенческой науки [Электронный ресурс]: сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры НИУ МГСУ (г. Москва, 2–5 марта 2020 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт строительства и архитектуры. – Электрон. дан. и прогр. – Москва: Издательство МИСИ – МГСУ, 2020 – Режим доступа: https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/2020/DSN_ISA_part3.pdf – Загл. с титул. экрана. ISBN 978-5-7264-2229-9.
12. Чулков В.О., Лосев К.Ю. Инфографическое моделирование сходства и отличия естественного и искусственного в междисциплинарных онтологиях теории и киберфизики систем // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/95TVN417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/95TVN417.
13. Казарян Р.Р., Комаров Н.М., Чулков В.О., Казарян Д.Р. Изменчивость и адаптивная норма в системе «человектехника-среда, ЧТС» // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/108TVN517.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/108TVN517.
14. Antropotechnics: norm in every living thing and artificial beings / Sudakov K.V., Chulcov V.O., Kazaryan R.R., Glazachev O.S., Dmitrieva N.V., Komarov N. M.-M., SvR-ARGUS. – 2013.
15. V. Chulkov, A. Yurgaytis (2019) Multi-layer infographic model of the construction reorganization in cyberphysics. – E3S Web of Conferences 110,0 (2019) <https://doi.org/10.105/e3sconf/201911001080-2018> 10 10 SPbWOSCE 80 80.

Kourkin Sergey Vladimirovich

National research Moscow state building university, Moscow, Russia
Russia, Moscow.
E-mail: sergey021097@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4377-9312>

Chulkov Vitaly Olegovich

National research Moscow state building university, Moscow, Russia
Russia, Moscow.
E-mail: vitoch@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7059-2310>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=678864

Rational choice of enclosing structures of residential buildings, as cyber-physical systems, according to the criterion of energy efficiency

Abstract. The article deals with the issue of energy efficiency of enclosing structures and residential buildings in General. Since the issue under consideration is raised in the XXI century, for its consideration and more detailed study, the author turns to cyberphysical systems, which at the moment in Russia, in comparison with foreign countries, are on the initial path of formation, which allows you to quickly and fully integrate new original domestic developments and make it possible to read heat loss indicators in real time from sensors that will be installed on the considered enclosing structures in order to increase reliability and energy efficiency.

The author uses the theoretical level of scientific knowledge, which is associated with the predominance of mental activity, with the understanding of empirical materials and their comparison. In order to compare energy efficiency indicators, the author provides indicators of Russia and foreign countries.

The author of the article focuses on the huge heat loss of residential buildings through enclosing structures, which leads to a huge consumption of conventional fuel and energy, and also makes you think about choosing more rational enclosing systems and creating a single airtight circuit.

The article presents various types of facade systems (traditional, plaster, ventilated, translucent and adaptive facade systems), which are considered from the point of view of energy efficiency and labor intensity during installation. The main criterion of which is the heat engineering calculation performed in accordance with the current standards on the basis of which the operating costs and payback period are determined.

Keywords: energy-efficient house; heat loss; enclosing structures; facade systems; cyberphysical systems