

DOI: 10.12737/article_5a2a4d44e61677.02673140

Косухин М.М., канд. техн. наук, проф.,
Косухин А.М., зав. лабораторией

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

К ВОПРОСУ О РОЛИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ФАСАДНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ*

mkosuhin@mail.ru

Представлен краткий анализ технического состояния основных фондов жилищно-коммунального комплекса страны, основную часть которых составляют гражданские здания. Показано, что на сегодняшний день жилищный фонд не удовлетворяет современным требованиям теплотехнических норм, вопросам энергосбережения и энергоэффективности зданий. Для создания необходимого микроклимата жилых помещений с обеспечением комфортной среды проживания большинство гражданских зданий, построенных в разные времена, нуждаются в проведении масштабной модернизации. Главная роль в решении этого вопроса отводится капитальному ремонту.

Для результативного его проведения необходим комплексный подход к технологии ремонтно-строительного производства с использованием современных энергосберегающих технологий и материалов. Эффективному выполнению тепловой изоляции ограждающих конструкций должно предшествовать профессиональное детальное обследование технического состояния объектов с выдачей научно-обоснованных рекомендаций, базирующихся на современных научных достижениях в этой области, для дальнейшего составления технического задания на проектирование этих работ. Отмечено, что обеспечить экономическую и технологическую эффективность выбора и устройства тепловой изоляции можно только путем научного подхода, знания физико-химических процессов и явлений, протекающих в ограждающих конструкциях под действием внешней и внутренней эксплуатационных сред. При этом необходимо научиться управлять этими процессами.

Ключевые слова: *жилищно-коммунальный комплекс, жилищный фонд, гражданские здания, ограждающие конструкции, капитальный ремонт, энергоэффективность, энергосбережение, тепловая изоляция, теплопередача, теплопроводность, конвекция, излучение, тепловой поток, сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции.*

Введение. В настоящее время для создания комфортной среды проживания, выполнения требований повышения энергоэффективности и энергосбережения, увеличения эксплуатационной надежности, улучшения архитектурной выразительности к гражданским зданиям предъявляются особые требования. Их выполнение является задачей общегосударственной важности и масштаба в области строительного и жилищно-коммунального комплексов (ЖКК) страны [1].

На сегодняшний день основные фонды ЖКК составляют более 26 % от общего объема всех фондов российской экономики, при этом большинство из них приходится на долю гражданских зданий. Порядка 20 млн. объектов жилищного фонда, площадью около 3 млрд. м² потребляют более 20 % энергоресурсов страны [2]. Годовой оборот в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) превышает 4,1 трлн. рублей и составляет более 5,7 % валового внутреннего продукта России. Тем не менее, это самая проблемная отрасль экономики. Износ ее основных фондов превышает 60 %, а по некоторым показателям и выше [3].

В связи с тем, что состояние ЖКК напрямую определяет уровень благосостояния государства, перед отраслью остро стоит проблема ее выхода из сложившейся критической ситуации. За последние десятилетия реформирования отрасли были разработаны многочисленные нормативно-правовые и законодательные акты в этой области, включая «Стратегию развития жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2020 года», принятую 26 января 2016 года [4]. Разработка стратегии предполагала способствовать повышению комфортности условий проживания, модернизации и повышению энергоэффективности объектов ЖКХ, переходу на принципы использования современных эффективных материалов и технологий, применяемых при строительстве и модернизации объектов коммунальной инфраструктуры и жилищного фонда, обеспечению доступности многоквартирных домов (МКД) для инвалидов и других маломобильных групп населения.

Но в связи с тем, что намеченные в стратегии подходы носят в основном субъективный харак-

тер, эффективность ее реализации далека от ожидаемой. Для результативного выполнения стоящих перед отраслью задач необходимо решение комплекса мер, учитывающих ее объективное состояние. Уроки отечественного прошлого опыта наглядно демонстрируют возможности применения мало известных и не применяемых в настоящее время механизмов и технологий. В работе [5] раскрыты вопросы, которые являются весьма актуальными для проведения реформ в жилищной сфере и коммунальном (городском) хозяйстве.

Основная часть. Строящиеся в настоящее время гражданские здания в основном удовлетворяют современным теплотехническим требованиям. Большинство же зданий, построенных в разные времена, нуждаются в проведении их масштабной модернизации. В этом процессе особая роль принадлежит капитальному ремонту. Но предложенная Минстроем России система капитального ремонта явилась политически ангажированным материалом для разного рода далеких от экономики спекуляций [6]. Программа капитального ремонта, отмечает автор, должна рассматриваться не только в терминах социальных инициатив, но и в проектной терминологии. То есть, должны обсуждаться как источники финансирования с их порядком, так и главные базовые элементы – состояние жилищного фонда, дальнейшее использование земельных ресурсов и аварийных объектов. При этом важную роль играют превентивные меры – техническое обследование жилищного фонда, паспортизация зданий, формирование на их основе планов проведения капитального ремонта. Главное в решении данного вопроса – наличие профессиональных кадров. Учет этих факторов позволит добиться желаемой результативности в проведении капитального ремонта и, в первую очередь, путем повышения уровня самого ремонтно-строительного производства, базирующегося на результатах профессионального обследования технического состояния объектов реконструкции. Для решения поставленной задачи необходим комплексный подход к технологии ремонтно-строительных работ с использованием современных энергосберегающих технологий и отличающийся от традиционных, общепринятых способов организации ремонтно-строительного производства.

Опыт проведения капитальных ремонтов показал, что фрагментарные, бессистемные и локальные его задачи, не решили глобальные проблемы снижения высокого энергопотребления зданий. Это привело только к дополнительным расходам на проведение таких работ, а старение жилищного фонда, его недоремонт привели к росту объемов ветхого и аварийного жилья и снижению уровня комфортности.

При проведении капитального ремонта, кроме обеспечения требуемых параметров внутреннего микроклимата и эксплуатационной надежности, особая роль отводится повышению энергоэффективности и энергосбережению отремонтированных зданий. Главным объектом реализации этой цели являются ограждающие конструкции. С момента выхода в свет Федерального Закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности ...» [7], практически во всех регионах России начали вестись работы по проведению капитального ремонта наружных ограждений всех типов зданий в рамках реализации требований данного закона. При этом главными показателями результативности ремонтно-строительных работ служили количество отремонтированных домов и объемы освоения денежных средств. Вопросы качества и долговечности утепления фасадов стояли на заднем плане, а научное обоснование к проведению таких работ вообще не проводилось. Это легко объяснялось тем, что проведению ремонтных работ должно предшествовать профессиональное детальное обследование технического состояния объектов с выдачей научно-обоснованных рекомендаций, базирующихся на современных научных достижениях в области тепловой изоляции ограждающих конструкций, для дальнейшего составления технического задания на проектирование этих работ. Но оплата на проведение такого рода работ всегда оставалась большой проблемой.

Тем не менее, проведение работ по эффективной фасадной тепловой изоляции требует серьезного научного подхода с целью экономической и технологической эффективности ее выбора и устройства. Необходимо не забывать, что непосредственным источником инновационных и прорывных технологий, в том числе и в строительстве, являются прикладные и фундаментальные научные исследования [8].

Ограждающие конструкции, подвергающиеся воздействию наружной и внутренней эксплуатационной среды, это сложная термодинамическая система, подчиняющаяся физико-химическим законам, процессам и явлениям. Поэтому, эффективно управлять ее теплофизическими свойствами можно только на научной основе. Особенно это важно, когда речь идет об использовании новых строительных технологий, материалов и теплоизоляционных систем.

На долговечность ограждающих конструкций, и особенно на их теплофизические свойства, существенное влияние оказывают климатические условия: атмосферные осадки, суточные и сезонные колебания температур, ветровые нагрузки, солнечная радиация, биокоррозионные

процессы, а также процессы и явления внутри конструкций, вызванные этими условиями. Влияние этих факторов приводит к снижению эксплуатационной надежности, как самих ограждающих конструкций, так и в целом всего здания. При этом с течением времени, заметно ухудшаются и теплофизические показатели.

Наружная ограждающая конструкция является поверхностью раздела фаз при взаимодействии холодной наружной и теплой внутренней эксплуатационной сред. При этом, как на поверхностях этой границы, так и внутри нее, происходят новые процессы и явления, оказывающие существенное влияние на качество тепловой изоляции, внутренний микроклимат помещения, а также на эксплуатационную надежность и долговечность здания. В данной работе затронуты процессы тепловой передачи, происходящие в ограждающих конструкциях зданий.

Из условия работы наружной стены, перемещение тепла в толще ее конструкции происходит от внутренней теплой поверхности к наружной холодной под действием градиента температур. В классической термодинамике это явление получило название теплопередачи и осуществляется тремя способами теплообмена: теплопроводностью, конвекцией и излучением [9].

Теплопроводность является основной тепловой характеристикой любого материала. В ограждающих конструкциях зданий теплообмен осуществляется в основном, теплопроводностью. Процесс одномерной стационарной теплопроводности в однородном материале описывается уравнением Фурье:

$$q_T = -\lambda(dt/dx) \quad (1),$$

где q_T – поверхностная плотность теплового потока, проходящего через плоскость, перпендикулярную тепловому потоку, Вт/м²; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·°С; t – температура, изменяющаяся вдоль оси x прохождения теплового потока, °С.

Коэффициент теплопроводности λ является одной из основных тепловых характеристик любого теплоизоляционного материала. Из уравнения следует, что теплопроводность материала – это мера проводимости теплоты материалом, численно равная тепловому потоку, проходящему сквозь толщу материала площадью 1 м², перпендикулярной направлению теплового потока, при разности температур на внутренней и наружной поверхностях, равной 1°С. Чем выше значение λ , тем интенсивнее протекает процесс проведения тепла. Поэтому, к теплоизоляционным материалам предъявляются особые требования по теплопроводности, для них λ должен быть

менее 0,3 Вт/м·°С. На теплопроводность материала при его неизменной плотности и структуре влияет ряд физико-химических факторов и явлений. К наиболее значимым из них относятся влажность и повышение температуры.

Вторым способом теплопередачи в ограждающих конструкциях является конвекция. При различных значениях температур наружной и внутренней поверхностей стены здания и омываемого воздуха происходит конвективный теплообмен – совместный процесс конвекции и теплопроводности у поверхности стены. Конвекция бывает естественная и принудительная. Естественная конвекция происходит из-за разности температур поверхности стены и омываемого воздуха. Принудительная конвекция создается различными вентиляционными системами. Конвекция играет важную роль в создании комфортного микроклимата внутри помещения. Значение конвективного теплового потока определяется уравнением Ньютона:

$$q_k = \alpha_k \cdot (t_a - \tau) \quad (2),$$

где q_k – тепловой поток, Вт, передаваемый конвекцией от движущегося воздуха к поверхности или наоборот; t_a – температура воздуха вблизи поверхности стены, °С; τ – температура поверхности стены, °С; α_k – коэффициент конвективной теплоотдачи на поверхности стены, Вт/м²·°С.

Конвективный коэффициент теплоотдачи – физическая величина, численно равная количеству теплоты, передаваемой от воздушной среды к поверхности стены путем конвективного теплообмена при разности температур воздуха и поверхности, равной 1°С.

Третий способ передачи теплоты – излучение или лучистый теплообмен, играющий важную роль в обмене теплотой внутренних поверхностей ограждающих конструкций и отопительных приборов. Интенсивность передачи теплоты между поверхностями лучистым теплообменом можно упрощенно определить по разности температур этих поверхностей:

$$q_l = \alpha_l \cdot (T_1 - T_2) \quad (3),$$

где T_1 и T_2 – температура поверхностей, участвующих в лучистом теплообмене, °С; α_l – коэффициент лучистой теплоотдачи на поверхности стены, Вт/м²·°С.

Характеристикой процесса передачи теплоты применительно к ограждающим конструкциям зданий и сооружений служит теплотехнический коэффициент, получивший название – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции и характеризующий уровень теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций.

Чем выше сопротивление теплопередаче наружной стены, тем лучше ее теплоизоляционные свойства, т.е. через нее проходит меньше тепла, а, следовательно, меньше его потери. Сопротивление теплопередаче измеряется в $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и обозначается – R . Физический смысл его численного значения можно объяснить с двух позиций. В первом случае численное значение сопротивления теплопередаче показывает площадь поверхности в м^2 , через которую проходит тепловой поток мощностью 1 Вт при градиенте температур у этой поверхности, равном 1 °С. Во втором случае численное выражение R показывает какой температурный перепад в °С у внутренней и наружной

$$R_0 = R_k + R_v + R_n = (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) + R_v + R_n, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \quad (4)$$

Термическое сопротивление теплопередаче однородных слоев определяется по формуле:

$$R_n = v_n / \lambda_n, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}, \quad (5)$$

где v_n – толщина n -слоя в м; λ_n – коэффициент теплопроводности материала n -слоя, Вт/м·°С.

Сопротивление теплопередаче пристеночных слоев воздуха определяется по формулам:

$$R_v = 1/\alpha_v \text{ и } R_n = 1/\alpha_n \quad (6)$$

где α_v и α_n – коэффициенты теплопередачи соответственно, внутреннего и наружного пристеночных слоев воздуха, Вт/м²·°С.

$$R_{пр} = (R_{o1} \cdot F_1 + R_{o2} \cdot F_2 + R_{o3} \cdot F_3 + \dots + R_{он} \cdot F_n) / (F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n) \quad (7)$$

или

$$R_{пр} = (t_v - t_n)/(Q/A) \quad (8)$$

где Q – тепловой поток, проходящий через конструкцию (или ее участок), Вт; A – площадь конструкции (или ее участка), м².

Выражение Q/A – усредненная плотность теплового потока, проходящего через усредненную площадь ограждающей конструкции, то есть:

$$q^{пр} = \frac{Q}{A} \text{ или } q^{пр} = \frac{t_v - t_n}{R_0^{пр}} \quad (9)$$

При устройстве фасадной изоляции с использованием эффективных утеплителей роль теплопроводных включений самой ограждающей конструкции сводится к минимуму, поэтому ими можно пренебречь. Такой участок наружной стены характеризуется условным сопротивлением теплопередаче $R_0^{ус}$. С помощью его величины можно судить о теплотехнической однородности ограждения через коэффициент теплотехнической однородности r . Он является отно-

поверхностей ограждающей конструкции обеспечивает ее теплозащиту при мощности теплового потока в 1 Вт, проходящего через 1 м² поверхности этой конструкции. Говоря о сопротивлении теплопередаче необходимо понимать два его понятия: общее сопротивление теплопередаче конструкции R_0 и термическое сопротивление конструкции R_k .

R_0 определяется суммой термического сопротивления конструкции R_k , равного сумме термических сопротивлений ее отдельных слоев ($R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$), и сопротивлений теплопередаче ее пристеночных слоев воздуха у внутренней и наружной поверхностей конструкции R_v и R_n :

В связи с тем, что поверхность реальных ограждающих конструкций из-за неоднородности ее строения имеет различную температуру, для практических расчетов введено понятие «приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции» – $R_{пр}$, которым называется сопротивление теплопередаче однослойной ограждающей конструкции той же площади, через которую проходит одинаковый с реальной конструкцией поток теплоты при одинаковой разности между температурой внутреннего и наружного воздуха. Оно определяется, как средневзвешенное по площади значение R_0 , с учетом R_0 всех разнородных участков конструкции:

шением приведенного сопротивления теплопередаче конструкции к значению условного сопротивления теплопередаче конкретного ее участка:

$$r = \frac{R_0^{пр}}{R_0^{усл}} \quad (10)$$

Данный коэффициент всегда меньше единицы. В практике применения фасадной изоляции необходимо стремиться к максимальному использованию ее функциональных возможностей. При этом коэффициент технической однородности должен стремиться к единице. Кроме решения теплозащитных показателей, это имеет важное экономическое значение при определении стоимости устройства изоляции.

Важным показателем, связанным с приведенным сопротивлением теплопередаче является коэффициент теплопередачи наружной ограждающей конструкции – величина, обратная $R_0^{пр}$:

$$K = \frac{1}{R_0^{пр}} \quad (11)$$

которая равна плотности теплового потока, проходящего сквозь ограждение, при разности температур на его поверхностях в 1 °С. Отсюда следует, что тепловой поток q , Вт/м², проходящий через ограждение теплопередачей, равен:

$$q = K \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \quad (12).$$

По требованиям СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [10] фактическое $R_{\text{пр}}$ конструкции не должно быть меньше сопротивления теплопередаче, обеспечивающего нормативное значение температурного перепада ΔT между температурой внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$ и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции $t_{\text{н}}$. Это санитарно-гигиеническое требование выражается условием:

$$R_{\text{пр}} \geq n \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{\Delta T} \cdot a_{\text{в}} \quad (13),$$

где n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху; $t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С.

Выводы. Таким образом, вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что реального повышения энергоэффективности гражданских зданий при устройстве тепловой изоляции их фасадов, можно добиться только при использовании научных подходов в решении этих задач. Это позволит экономически и технологически выгодно подобрать вид тепловой изоляции в зависимости от климатического местонахождения объекта, материалы и технологию ее устройства. Главное в решении этого вопроса заключается в том, чтобы не теплотехнические процессы и явления влияли на работу наружной ограждающей конструкции, а эффективно запроектированная конструкция самопроизвольно управляла этими процессами.

**Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Косухин М.М. От истории создания до современного состояния и перспектив развития

Информация об авторах

Косухин Михаил Михайлович, кандидат технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

E-mail: mkosuhin@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Косухин Андрей Михайлович, заведующий лабораторией.

E-mail: andrey.shik@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

жилищно-коммунального хозяйства России // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №12. С. 48–54.

2. Ввод в действие жилых домов в Российской Федерации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Жилищно-коммунальное хозяйство России#cite note-8](https://ru.wikipedia.org/wiki/Жилищно-коммунальное_хозяйство_России#cite_note-8) (дата обращения 12.10.17).

3. Медведев Д.: Более 60 % фондов в ЖКХ отслужили свой срок : Политика : [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.rbc.ru/politics/23/11/2010/5703e0a49a79473c0df17416> (дата обращения 12.10.17).

4. Стратегия развития ЖКХ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.surveyinvest.com/object_681206 (дата обращения 12.10.17).

5. Говоренкова Т.М., Савин Д.А. Жилищно-арендная кооперация. Опыт новой экономической политики и возможность его применения в современной России // Жилищный альманах. М. 1999.

6. Созинов П. Капремонт остался без профессионалов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://ok-inform.ru/stroitelstvo/zhkkh/53919-kapitalnyj-remont-ostalsya-bez-professionalov.html> (дата обращения 12.10.17).

7. Федеральный закон от 23.11.2009 г. №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

8. Доклад РАН Президенту о состоянии фундаментальных наук в Российской Федерации и о важнейших научных достижениях российских ученых в 2015 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [www.ras.ru / FStorage / Download.aspx?id =32f7083e-46e9-45ff-8a79-da17c196f507](http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=32f7083e-46e9-45ff-8a79-da17c196f507) (дата обращения 12.10.17).

9. Толстова Ю.И., Шумилов Р.Н. Основы строительной теплофизики: учеб. пособие, Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 104с.

10. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М., 2004.

Поступила в октябре 2017 г.

© Косухин М.М., Косухин А.М., 2017

Kosukhin M.M., Kosukhin A.M.

ON THE ROLE OF HEAT CONDUCTION PROCESSES IN IMPROVING THE EFFICIENCY OF FACADE HEAT PROTECTING INSULATION IN CIVIC BUILDINGS

The brief analysis of the technical condition of the country's housing and utility stock, which is mostly composed of civic buildings, has been presented. It has been demonstrated that at present the housing stock doesn't meet the up-to-date requirements of heating performance standards and the standards of buildings' energy saving and energy efficiency. In order to create the proper internal environment of living premises and the comfortable living environment most of civic buildings, erected at different time, need the large-scale modernization. The major part in solving this problem is played by capital repairs.

For its efficient implementation the integrated approach to the repair and building production is required, with the use of up-to-date energy-saving technologies and materials. The efficient installation of heat insulation for enclosing structures must be preceded by the professional building structural survey with providing the scientifically valid recommendations, based on modern scientific achievements in this area, for the further making of the technical design specification for these works. It is noted that the economical and technological efficiency of selecting and installing heat insulation can be provided only by means of scientific approach, knowledge of physical and chemical processes and phenomena, going on in enclosing structures under the action of external and internal operational environment. It is also essential to learn to control these processes.

Keywords: *housing and utility complex, housing stock, civic buildings, enclosing structures, capital repairs, energy efficiency, energy saving, heat insulation, heat conduction, heat conductivity, convection, radiation, heat current, heat transmission resistance of an enclosing structure.*

Information about the author

Kosukhin Mihail Mihailovich, PhD, Professor.

E-mail: mkosuhin@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kosukhin Andrey Mihailovich, head of laboratory.

E-mail: andrey.shik@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2017

© Kosukhin M.M., Kosukhin A.M., 2017