

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-2-30-38

*\*Опарина Л.А., Огурцов В.А., Власова Е.А., Обухова Ю.Д.**Ивановский государственный политехнический университет**\*E-mail: L.A.Oparina@gmail.com*

## УРАВЛЕНИЕ АДАПТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ В ТЕЧЕНИЕ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

**Аннотация.** *Тема адаптивного проектирования является актуальной и отвечает вызовам, стоящим перед современными архитектурно-строительными науками: изменение климата, ресурсо- и энергосбережение, экологические проблемы и другие. Изменение стиля жизни современного общества, требований к комфортности зданий и доступности инфраструктуры также являются факторами, определяющими тренды на адаптивное проектирование. Особенно актуальна данная тема для многоквартирных домов, в которых проживает и работает значительная часть населения страны. Многоквартирные дома должны сохранять требования устойчивого развития общества и отвечать климатическим и другим вызовам на протяжении всего жизненного цикла. В статье систематизированы факторы, влияющие на тенденции архитектуры и строительства в многоквартирных зданиях. Разработаны показатели для адаптивного проектирования многоквартирных домов с учётом нормативных требований. Предложены расчётные формулы для данных показателей, учитывающие динамику жизненного цикла многоквартирных домов. Разработана форма уравнения адаптивного проектирования многоквартирных домов в течение жизненного цикла в дифференциальной форме. Уравнение адаптивного проектирования выражает динамическое изменение термического сопротивления теплопередачи с учётом отклонения температуры от климатической нормы, температурной адаптации строительных материалов, коэффициента влияния осадков, характеризующий гидрогеологическую адаптацию и скорость изменения количества осадков в течение жизненного цикла зданий. Продемонстрирована преемственность предлагаемого подхода с методами решения нелинейных уравнений в физике и механике сплошных сред. Предложено использование метода Эйлера для решения данного динамического уравнения. Добавлены расчётные примеры, демонстрирующие практическую ценность уравнения при проектировании.*

**Ключевые слова:** *адаптивное проектирование, дифференциальное уравнение, жизненный цикл здания, многоквартирный дом.*

**Введение.** Актуальной проблемой и вызовом, стоящим перед современной архитектурно-строительной наукой, является проблема изменения климата. Данные изменения можно наблюдать повсеместно, например, в центральной части России постепенно лето становится более жарким, а зима менее продолжительной, теплой и бесснежной. При этом увеличивается интенсивность и скорость изменения осадков. По данным официального доклада НИУ Росгидромета за 2024 год, последствия глобального потепления увеличиваются с 1970 года с каждым десятилетием. Самым теплым годом из истории метеорологических наблюдений стал 2024 год, при этом наблюдались новые повышенные значения температур океанов, морей и поверхности почвы. Одновременно в атмосфере наблюдался рост концентрации парниковых газов – углекислого газа 426,2 млн<sup>-1</sup> и метана 2032,4 млрд<sup>-1</sup>. В Российской Федерации после 1970-х наблюдался рост среднегодовой температуры в 2,5 раза, при этом потепление происходит во всех сезонах и на всей территории РФ. Данные изменения способствуют учащению явлений засухи в регионах,

выращивающих зерно, деградацию вечной мерзлоты, что угрожает фундаментам зданий, сходу лавин и опасности наводнений. В целом на территории России наблюдается тенденция к увеличению осадков. Интенсивность данных негативных изменений в ряде регионов может быть высокой [1]. Анализ прогнозов МГЭИК (англ. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC – Межправительственная группа экспертов по изменению климата) и прогнозных сценариев показал, что данные тенденции сохранятся: к 2050 году среднегодовая температура в РФ может повыситься ещё на 1-2 градуса, с увеличением концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере [2].

Несомненным остаётся тот факт, что указанные тенденции и прогнозы непосредственным образом влияют на человечество и среду его обитания, неотъемлемой частью которого являются здания, строения, сооружения. Строительная отрасль, жилищно-коммунальное хозяйство испытывают на себе влияние климатических изменений [3]. Это может проявляться в постепенные потери устойчивости фундаментов в регионах с оттаиванием вечной мерзлоты, увеличении

нагрузки на системы кондиционирования, перегрев зданий в летнее время, подтопления из-за наводнений и другие. Проектирование без учёта этих факторов ведёт к сокращению срока службы зданий, росту аварийности и экономических потерь (до 1,5 % ВВП к 2050 г.) Данные изменения необходимо учитывать уже сейчас при проектировании зданий, особенно это касается многоквартирных домов, проектируемых с длительным сроком службы (100–150 лет) без изменения своего функционального назначения. В общем виде методология оценки жизненного цикла объектов капитального строительства (ОКС) с позиции учёта изменения климата включает последовательность этапов: сбор и обработка информации о влиянии климатических изменений на ОКС; оценка климатического риска; разработка и принятие мер по адаптации ОКС к климатическим изменениям; анализ экономической и практической эффективности принятых мер по адаптации [4]. Таким образом, адаптация зданий к климатическим изменениям является важнейшей задачей, стоящей перед современной наукой.

В мировой архитектурно-строительной практике появилось и активно развивается новое направление: адаптивная архитектура, основным принципом которой является разработка архитектурных, конструктивных и инженерных решений в зданиях и других объектах капитального строительства, обеспечивающих их адаптацию к изменяющимся параметрам внешней среды. Это сложная, многоаспектная деятельность, интегрирующая устойчивые архитектурные решения, отвечающие на современные вызовы и потребности общества: энергоэффективность, гибкость и мобильность и интерактивность среды (человек, пространство и цифровые технологии) [5]. Примеры адаптивной архитектуры имеются как в зарубежной, так и в отечественных научных исследованиях. Jungwon Y. провёл исследование устойчивой и энергоэффективной оболочки здания с использованием термочувствительных «умных» материалов и представил концепцию проектирования адаптивных к климату фасадов с упором на термочувствительность «умных» материалов [6]. Адаптивная архитектура применяется при проектировании зданий больниц, включающих такие элементы дизайна, как гибкая планировка помещений, легко адаптируемые системы вентиляции и антимикробные покрытия [7]. В исследовании [8] рассматривается возможность адаптации общественных зданий для улучшения показателей здоровья и социальной устойчивости. На конкретных примерах оценивается адаптивность архитектуры с точки зрения пространственного, экономического и социального воздействия. Авторы предлагают гибридизацию

медицинских учреждений и торговых центров, проектирование которых осуществлять на междисциплинарном подходе с привлечением архитекторов, градостроителей, медицинских экспертов и граждан к формированию более здоровых городских пространств. В исследовании [9] выдвигается тезис о том, что универсальные архитектурные решения имеют ограниченную эффективность из-за специфических климатических и экологических требований. Однако надлежащим образом разработанная адаптивность модульных форм позволяет преодолеть эти ограничения. Выводы показывают, что достижение устойчивого и экологичного дизайна возможно путем адаптации технологий, материалов и архитектурных форм к местным климатическим условиям.

Одной из составляющих современной методологии управления различными процессами, в том числе и строительными проектами и зданиями, является концепция жизненных циклов. В основе экоустойчивого подхода в строительстве лежит оценка жизненного цикла здания от начала проектирования и создания эксплуатационной системы до ввода в эксплуатацию [10]. Проектировать здания нужно с учётом всего их жизненного цикла [11-12]. Таким образом, обеспечивается адаптация здания к климатическим изменениям в течение длительного периода эксплуатации.

Особое место в типологии объектов капитального строительства занимают многоквартирные дома (МКД). Динамика строительства МКД имеет тенденцию к устойчивому росту [13]. Социальные тенденции развития общества направлены на использование квартир не только для жилья, но и для работы, имеющей дистанционный характер, а также преимущественное использование первых этажей МКД под общественное назначение. Таким образом, МКД – это не только жильё, но и рабочие места и их проектированию на длительную эффективную эксплуатацию в течение жизненного цикла необходимо уделять особое внимание. Учитывая значительную протяжённость жизненного цикла многоквартирных зданий (срок службы зданий каменных, особо капитальных составляет 100-150 лет), их необходимо проектировать с сохранением параметров надёжности, энергоэффективности, комфортности на протяжении этого длительного периода. При этом одним из важнейших факторов, влияющих на эксплуатационные характеристики МКД, являются климатические факторы. В настоящее время адаптивное проектирование МКД с учётом жизненного цикла находится в начале своего развития, и эта тема исследований является очень актуальной.

**Материалы и методы.** Адаптивное проектирование зданий в целом, и многоквартирных домов в частности, основано на междисциплинарном подходе, так как это комплексная, системная технология, которая учитывает динамику изменений состояний конструктивных элементов зданий в течение жизненного цикла, изменение климатических параметров, оказывающих воздействие на здание, экологическое и энергетическое моделирование зданий.

В настоящее время разработаны и применяются различные математические модели проектирования зданий, учитывающие климатические изменения, среди которых можно выделить:

– Общая модель теплопередачи через ограждающие конструкции:

$$\frac{\partial \tilde{H}}{\partial t} = \text{div} \lambda \nabla T \mp C_R J_F \frac{\partial T}{\partial x} + Q_{sou}, \quad (1)$$

$$\tilde{H} = \int_0^T [c\rho + \delta(\xi - T^*) i_{met} w \rho_w L] d\xi,$$

где  $T^*$  – температура фазового перехода вода-лед, °С;

$L$  – льдистость материала, доли единицы;

$w$  – весовая влажность материала, доли единицы;

$\rho_w$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$i_{met}$  – удельная теплота фазового перехода, Дж/кг;

$\delta(\xi - T^*)$  – дельта-функция Дирака;

$J_F$  – расход воздуха через единицу поверхности ограждения, кг/(м<sup>2</sup>·ч);

$Q_{sou}$  – удельная мощность источников тепла в ограждении, Вт/м<sup>3</sup>;

$C_R$  – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С);

$c, \rho$  – соответственно удельная теплоемкость в Дж/(кг·°С) и плотность материалов слоев ограждения, кг/м<sup>3</sup> [14].

– Математическая модель процесса нестационарной теплопередачи через ограждающие конструкции, эксплуатируемые в условиях прерывистого отопления, основанная на определении удельных затрат тепловой энергии на нагрев многослойной наружной стены (КДж/м<sup>2</sup>):

$$Q_H = \sum_{i=1}^n c_i * \rho_i * \delta_i * \Delta \tau_i \quad (2)$$

где  $c_i$  – удельная теплоемкость  $i$ -го слоя стены, кДж/кг·°С;

$\rho_i$  – плотность  $i$ -го слоя наружной стены, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя наружной стены, м;

$\Delta \tau_i$  – Изменение температуры  $i$ -го слоя стены [15].

– Модель деформации основания при наличии вечномёрзлых грунтов:

$$S = S_{th} + S_p, \quad (3)$$

где  $S$  – осадка оттаивающего в процессе эксплуатации сооружения;

$S_{th}$  – составляющая осадки основания, обусловленная действием собственного веса оттаивающего грунта;

$S_p$  – составляющая осадки основания, обусловленная дополнительным давлением на грунт от действия веса сооружения.

В приведённых и аналогичных методиках оцениваются различные показатели и факторы климатического влияния на процессы, происходящие в зданиях и других строительных объектах. Однако большинство из них не учитывают динамику изменений в течение жизненного цикла здания (50–100 лет), также не учитываются климатические изменения и адаптационные изменения конструкций зданий под их воздействием во взаимосвязи, таким образом, остаётся непроработанным вопрос комплексного учёта воздействия совокупности факторов. Учитывая сложность, многоаспектность обозначенной проблемы, необходимо использовать междисциплинарный подход, синтезирующий в себе:

- экологическое моделирование – использование математических методов и инструментов для анализа и прогнозирования поведения экологических систем;
- строительную механику – учёт деформаций фундаментов при таянии мерзлоты;
- климатологию – интеграция прогнозных сценариев МГЭИК для параметра, характеризующего изменение климата во времени.

**Основная часть.** На основе синтеза обозначенных подходов авторами предлагается уравнение адаптивного проектирования зданий, которое является авторской разработкой, поскольку оно впервые объединило эти элементы для задач архитектурного проектирования.

Предлагаемое авторами уравнение адаптивного проектирования имеет вид:

$$R(t) = R_0^{TP} * e^{\alpha * \Delta T(t)} + \beta * \frac{dP}{dt} \quad (4)$$

где  $R(t)$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции здания в год  $t$ ;

$R_0^{TP}$  – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup> · °С)/Вт, принимаемое в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП), (°С·сут)/год, региона строительства (СП 50.13330.2024);

$\alpha$  – коэффициент температурной адаптации материала (1/°С);

$\Delta T(t)$  – отклонение температуры от климатической нормы (°С);

$\beta$  – коэффициент влияния осадков, характеризующий гидрологическую адаптацию ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{ч} / \text{Вт} \cdot \text{мм}$ )

$\frac{dP}{dt}$  – скорость изменения количества осадков (мм/год).

Ключевые компоненты уравнения основаны на работах И.В. Попова (адаптивные методы решения уравнений Навье-Стокса), где вводится концепция динамической коррекции параметров под изменяющиеся условия; И.М. Куликова (релятивистская гидродинамика на адаптивных сетках), чьи методы адаптации вычислительных сеток к разномасштабным процессам легли в основу идеи «гибкого» проектирования; И.В. Бойкова (адаптивные разностные схемы для теплопроводности), чьи работы доказали эффективность локальной параметризации под нестационарные поля. Так, И.В. Поповым в работе [16] предложен адаптивный метод решения уравнения Навье-Стокса, в котором множитель, учитывающий вязкостные эффекты, записывается в дифференциальной форме, позволяющей учесть скорость изменения градиентов давления и температуры при расчёте течения среды. Аналогично этому, в предлагаемом уравнении (4) скорость изменения климатических факторов ( $\frac{dP}{dt}$ ) используется для динамической коррекции термического сопротивления, что обеспечивает учёт накопленных нагрузок и инерционности отклика материалов. Работы И.М. Куликова [17], посвящённые релятивистской гидродинамике на адаптивных сетках, продемонстрировали эффективность локального перераспределения узлов сетки в зависимости от пространственно-временных градиентов физических полей. Эта идея легла в основу концепции «гибкого» проектирования, реализованной в уравнении (4): параметры конструкции адаптируются не статически, а в зависимости от скорости изменения внешних воздействий. И.В. Бойков [18] разработал адаптивные разностные схемы для уравнения теплопроводности, в которых шаг дискретизации зависит от локальных градиентов температуры. Это позволяет точнее моделировать нестационарные процессы. В данном случае аналогичный принцип применяется к проектированию – чем выше скорость изменения климатических параметров, тем больше необходимая величина корректировки термического сопротивления.

Применение дифференциальной формы уравнения обусловлено несколькими факторами:

1. Динамика климата – это непрерывный процесс, а не точка данных. Температура/осадки меняются непрерывно, и дифференциальные уравнения идеально описывают такие изменения. Например, скорость таяния мерзлоты ( $dS/dt$ )

зависит от текущей температуры  $T(t)$ , а не от её среднего значения за год. Климатические параметры (температура, влажность, осадки) меняются непрерывно во времени. Статические модели (например, регрессия) не учитывают:

- накопление эффектов (например, просадка фундамента из-за циклов замерзания-оттаивания);
- запаздывание реакции материалов (бетон деформируется не мгновенно при скачке температуры);
- взаимовлияние факторов (рост влажности → коррозия арматуры → снижение прочности → рост деформаций).

2. Нелинейность эффектов. Упрощённые линейные модели (типа «если  $+1\text{°C}$ , то  $R +5\%$ ») не работают при экстремальных сценариях. Дифференциальные уравнения учитывают пороговые явления – например, ускоренный рост нагрузки на кондиционирование при переходе за  $+40\text{°C}$ .

3. Обратная связь параметров здания. Требуемое сопротивление теплопередаче  $R(t)$  влияет на энергопотребление, которое в долгосрочной перспективе усиливает локальный «остров тепла» – это замкнутый цикл, который описывается системой дифференциальных уравнений.

4. Дифференциальные уравнения в данном случае более целесообразны, чем регрессионные модели, так как регрессии дают статичный «снимок» зависимостей, но не предсказывают поведение системы при выходе за рамки исторических данных – например, при беспрецедентной жаре  $+55\text{°C}$  в Сибири к 2100 г. Согласно прогнозам МГЭИК (IPCC AR6 WG1) и национальным сценариям, к концу века (2100 г.) в южных районах Сибири возможно достижение температур до  $+55\text{°C}$  в летний период в рамках сценария SSP5-8.5 [21]. Эти данные подтверждают необходимость учёта экстремальных климатических сценариев при проектировании зданий с длительным сроком службы. Дифференциальные уравнения же позволяют варьировать начальные условия и сценарии.

Для жизненного цикла здания (50-100 лет) критична проекция изменений. Дифференциальные уравнения позволяют моделировать сценарии через механизмы, а не статистику, учитывают инерционность климатической системы (например, запаздывание реакции океанов на выбросы  $\text{CO}_2$ ), дают возможность варьировать начальные условия (разные регионы РФ).

Таким образом, в уравнение адаптивного проектирования введён оператор дифференцирования как необходимое условие описания накопленных эффектов (кумулятивное воздействие осадков) и нестационарных процессов (измене-

ние режима увлажнения во времени). Дифференциальный оператор  $\frac{dP}{dt}$  позволяет формализовать скорость изменения климатических нагрузок, учесть инерционность отклика строительных конструкций и построить прогнозные сценарии методами численного интегрирования.

При этом критичным является темп нарастания риска (например, если месячная норма дождей выпадает за 3 дня, то резко возрастает риск подтопления фундамента). Для осадков  $P(t)$  – это интенсивность изменения осадков (мм/год). Является ключевым параметром для оценки гидрологической нагрузки на здание.

Примеры применения предложенного уравнения:

Пример 1. Учёт скорости изменения осадков.

Согласно докладу Росгидромета, на большей части территории России, включая Сибирь, наблюдается положительная тенденция к увеличению годового количества осадков [1]. Предположим, что для города Красноярск эта скорость составляет 2 мм/год (оценочная величина, соответствующая общему тренду). Примем  $\beta_P = 0,005 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{ч} / \text{Вт} \cdot \text{мм}$ . При этом базовое сопротивление  $R_0 = 3,2 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}$  (по СП 50.13330.2024). Тогда поправка за гидрогеологическую адаптацию составит:

$$\beta_P * \frac{dP}{dt} = 0,005 * 2,1 = 0,0105 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}.$$

Таким образом, через 30 лет накопленная корректировка достигнет  $\approx 0,3 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}$ , что эквивалентно увеличению толщины утеплителя на 5-7 см. Без учёта этой динамики возможны ошибки в проектировании водоотвода и фундаментов.

Пример 2. Адаптация к температурным аномалиям.

Средняя температура в регионе повышается на  $0,4 \text{ °C}$  в десятилетие. При  $\alpha_T = 0,01 \text{ 1/°C}$  и  $\Delta T(t) = +2,5 \text{ °C}$  (ожидаемое отклонение к 2050 г.), дополнительная поправка составит:

$$\Delta T(t) = 0,01 \times 2,5 = 0,025 (\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}.$$

Это означает, что уже сегодня при проектировании следует закладывать повышенное термическое сопротивление, чтобы избежать перегрева зданий в будущем. Такой подход и называется адаптивной теплоизоляцией – это не просто увеличение толщины утеплителя, а его динамический подбор с учётом прогнозируемой скорости изменения климата

Применение статической формы уравнения позволяет учесть только пиковые значения и дать консервативную оценку. Применение динамиче-

ской формы уравнения позволяет учесть скорость изменения и разработать адаптивные решения. Динамическая форма позволяет применить оператор дифференцирования к функции осадков, физически соответствует скорости изменения гидрологической нагрузки на здание, является ключевым для моделирования долговременной адаптации конструкций. Динамическая форма модели отличает её от статических аналогов через введение темпоральной динамики (специфическую взаимосвязь моментов времени и временных характеристик, динамику изменений явлений и процессов, временную сущность явлений). Уравнение реализует принцип Остроградского-Гамильтона для строительной механики: «Будущее состояние конструкции определяется не только текущими воздействиями, но и скоростью их изменения».

Адаптивное проектирование должно обеспечивать надёжность здания в течение всего жизненного цикла. Связь с теорией надёжности достигается реализацией принципа «проектирования по производной», согласно которому, критичен не абсолютный уровень воздействия, а его градиент, определяющий скорость старения материалов. В уравнении учтён отклик материалов на рост температуры, он является нелинейным [19, 20]. Данный элемент уравнения можно выражен в форме:  $e^{\alpha * \Delta T(t)}$ . Экспонента в данном случае описывает ускоренную деградацию при превышении пороговых значений (например, размягчение битума при  $+70 \text{ °C}$ ).

Динамическое сопротивление теплопередаче, учёт старения материалов и изменение климатических норм в модели обеспечивается функцией  $R(t)$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции в год  $t$ . Для динамического моделирования предложенное уравнение может быть решено численно (например, методом Эйлера):

**Выводы.** Архитектура будущего – это симбиоз математики, экологии и гибкости. Проектируя под изменчивый климат, архитекторы создают здания-хамелеоны, способные адаптироваться к новым вызовам века. Предложенное уравнение адаптивного проектирования является одним из действенных инструментов решения проблемы устойчивости жизненного цикла зданий. Уравнение основано на внедрении динамических поправок к основному показателю тепловой защиты зданий – сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций. Применение данного уравнения позволит обеспечить надёжность и комфортный микроклимат зданий при изменяющихся климатических условиях на долгий срок, а также сократить затраты в течение жизненного цикла зданий за счёт уменьшения

количества ремонтов и в целом снизить энергопотребление зданий за счёт адаптивной теплоизоляции и, соответственно, снизить углеродный след и нагрузку на окружающую среду от эксплуатации здания в течение жизненного цикла. Под адаптивной теплоизоляцией понимается проектирование ограждающих конструкций с учётом динамики климатических изменений, включая скорость изменения температуры и осадков, что позволяет заранее закладывать запас устойчивости и избегать дорогостоящих модернизаций в будущем.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год [Электронный ресурс] / [http://downloads.igce.ru/reports/Doklad\\_o\\_klimate\\_RF\\_2024\\_with\\_cover.pdf](http://downloads.igce.ru/reports/Doklad_o_klimate_RF_2024_with_cover.pdf) (Дата обращения 17.08.2025).
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Вероятностная оценка наблюдаемых и ожидаемых изменений климата Российской Федерации: температура воздуха // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2011. Т. 24. С. 43–70.
3. Швец А.Е., Шеина С.Г. Влияние изменения климата на строительную отрасль // В сборнике: Строительство и архитектура – 2024. Материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства. Ростов-на-Дону, 2024. С. 297–299.
4. Шеина С.Г., Чернявский И.А. Управление жизненным циклом объектов капитального строительства в условиях изменения климата // Молодой исследователь Дона. 2025. №10(1). С. 72–75.
5. Пономарёв А.В. Адаптивная архитектура – основные направления развития. Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14(2). С. 406–417. DOI: 10.21285/2227-2917-2024-2-406-417. EDN: EMMSWC
6. Jungwon Y. Climate-adaptive Facade Design with Smart Materials: Evaluation and Strategies of Thermo-Responsive Smart Material Applications for Building Skins in Seoul. Conference: PLEA 2018: Smart and Healthy Within the Two-Degree Limit. At: Hong Kong, 2018. Pp. 620–626.
7. Agrawal K. Adaptive Architecture and Infection Prevention in Hospitals. International journal of scientific research in engineering and management. 2024. No. 08(04):1-5. Pp. 25–30. DOI:10.55041/IJSREM30035
8. Zinoski M., Petrunova I., Brsakoska J. The Architecture of Public Buildings as a Transformative Model Toward Health and Sustainability. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2025. Vol. 22. 736. DOI: 10.3390/ijerph22050736.
9. Maciejko A., Grześkowiak M., Kowalska A. Climate and sustainability in architecture: analysis of challenges and limitations for universal solutions in the design of single-family houses. Human Factors in Architecture, Sustainable Urban Planning and Infrastructure. 2025. Vol. 191. Pp. 84–94. DOI: 10.54941/ahfe1006612.
10. Федосов С.В., Нармания Б.Е., Смирнова Е.Л., Коновалова В.С., Касьяненко Н.С. Понятие «жизненный цикл здания»: к вопросу о концептуализации // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 4. С. 584–595. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.4.584-595
11. Горбанева Е.П., Косовцева И.А., Кстенин Т.В. Оптимизация экономических результатов внедрения энергосберегающих мероприятий в течение полного жизненного цикла объекта капитального строительства // Real Estate: Economics, Management. 2023. № 4. С. 45–49.
12. Сулейманова Л.А., Обайди А.А. Управление жизненным циклом здания на этапе эксплуатации с использованием моделей искусственных нейронных сетей и машинного обучения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 3. С. 38–46. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-3-38-46
13. Глаголев Е.С., Сулейманова Л.А., Марушко М.В. Развитие жилищного строительства в России // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 17–22. DOI: 10.12737/23587
14. Гражданкин А.А., Иванченко В.Т., Письменский А.В. Математическое моделирование теплопередачи через ограждающую конструкцию // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 6. С. 29–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-6-29-39
15. Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г., Сапарёв, М.Е. Математическое моделирование процесса нестационарной теплопередачи через строительные ограждающие конструкции в условиях прерывистого отопления // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. С. 42–48. DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.180
16. Попов И.В., Фрязинов И.А. Метод адаптивной искусственной вязкости для решения системы уравнений Навье–Стокса // Журнал вычислительной математики и математической физики, 2015. Т. 55, № 8. С. 1356–1362. DOI: 10.7868/s0044466915080141
17. Куликов И.М., Караваев Д.А. Кусочно-параболическая реконструкция физических переменных в методе HLL при решении уравнений

релятивистской гидродинамики // Сиб. журн. вычисл. математики / РАН. Сиб. отд-ние. Новосибирск. 2023. Т. 26, № 1. С. 57–75.

18. Бойков И.В., Рязанцев В.А. Построение адаптивных разностных схем решения уравнения теплопроводности // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2017. № 1(41). С. 68–81. DOI 10.21685/2072-3040-2017-1-7

19. Белов М.П., Синяков Р.И. Динамика решетки и нелинейный отклик ОЦК-титана на деформации при высокой температуре в методе *ab initio* молекулярной динамики // Физика твердого тела. 2022. Т. 64(8). С. 915–919. DOI: 10.21883/FTT.2022.08.52682.362

#### Информация об авторах

**Опарина Людмила Анатольевна**, доктор технических наук, заведующий кафедрой организации производства и городского хозяйства. E-mail: L.A.Oparina@gmail.com. Ивановский государственный политехнический университет. Россия, 153000, Иваново, Шереметевский пр-кт, д. 21.

**Огурцов Валерий Альбертович**, доктор технических наук, профессор кафедры строительства и инженерных систем. E-mail: ogurtzovvawork@mail.ru. Ивановский государственный политехнический университет. Россия, 153000, Иваново, Шереметевский пр-кт, д. 21.

**Власова Екатерина Анатольевна**, аспирантка. E-mail: vkatru@mail.ru. Ивановский государственный политехнический университет. Россия, 153000, Иваново, Шереметевский пр-кт, д. 21.

**Обухова Юлия Дмитриевна**, аспирантка. E-mail: ooobuhova@yandex.ru. Ивановский государственный политехнический университет. Россия, 153000, Иваново, Шереметевский пр-кт, д. 21.

---

Поступила 29.09.2025 г.

© Опарина Л.А., Огурцов В.А., Власова Е.А., Обухова Ю.Д., 2025

**\*Oparina L.A., Ogurtsov V.A., Vlasova E.A., Obukhova Y.D.**

*Ivanovo State Polytechnic University*

*\*E-mail: L.A.Oparina@gmail.com*

## EQUATION FOR ADAPTIVE DESIGN OF APARTMENT BUILDINGS DURING THEIR LIFECYCLE

---

**Abstract.** *The topic of adaptive design is highly relevant and addresses the challenges facing modern architectural and construction sciences: climate change, resource and energy efficiency, environmental issues, and others. Changes in contemporary societal lifestyles, increasing demands for building comfort, and infrastructure accessibility are also key factors shaping trends toward adaptive design. This topic is particularly important for multi-apartment residential buildings, where a significant portion of the population lives and works. Multi-apartment buildings must meet sustainable development goals and respond effectively to climatic and other challenges throughout their entire life cycle.*

*This paper systematizes the factors influencing current trends in architecture and construction within multi-apartment buildings. Indicators for adaptive design of multi-apartment buildings have been developed, taking into account regulatory requirements. Calculation formulas for these indicators are proposed, incorporating the dynamics of the building's life cycle. A differential equation formulating adaptive design for multi-apartment buildings over their life cycle is introduced. The adaptive design equation expresses the dynamic variation of thermal resistance to heat transfer, considering deviations of temperature from climatic norms, temperature-induced adaptation of construction materials, and a precipitation impact coefficient characterizing hydrogeological adaptation and the rate of change in precipitation volume over the building's life cycle. The Euler method is proposed for solving this dynamic equation. The proposed approach's continuity with methods for solving nonlinear equations in physics and continuum mechanics is demonstrated. The use of Euler's*

method for solving this dynamic equation is proposed. Calculation examples are included, demonstrating the practical value of this equation in design.

**Keywords:** adaptive design, differential equation, building life cycle, multi-apartment residential building.

## REFERENCES

1. Report on Climate Features in the Territory of the Russian Federation in 2024 [Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2024 god]. [http://downloads.igce.ru/reports/Doklad\\_o\\_klimate\\_RF\\_2024\\_with\\_cover.pdf](http://downloads.igce.ru/reports/Doklad_o_klimate_RF_2024_with_cover.pdf) (Date of access: 17.08.2025). (rus)
2. Gruzha G.V., Rankova E.Ya. Probabilistic Assessment of Observed and Expected Climate Changes in the Russian Federation: Air Temperature [Veroyatnostnaya otsenka nablyudaemikh i ozhidaemikh izmenenii klimata Rossiiskoi Federatsii: temperatura vozdukh]. Problems of Ecological Monitoring and Ecosystem Modelling. 2011. Vol. 24. Pp. 43–70. (rus)
3. Shvets A.E., Sheina S.G. Impact of Climate Change on the Construction Industry [Vliyanie izmeneniya klimata na stroitelnyuyu otasl]. In: Construction and Architecture – 2024. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of the Faculty of Industrial and Civil Engineering. Rostov-on-Don, 2024. Pp. 297–299. (rus)
4. Sheina S.G., Chernyavskiy I.A. Life Cycle Management of Capital Construction Projects under Changing Climate Conditions [Upravlenie zhiznennim tsiklom obektov kapitalnogo stroitelstva v usloviyakh izmeneniya klimata]. Young Researcher of Don. 2025. Vol. 10(1). Pp. 72–75. (rus)
5. Ponomaryov A.V. Adaptive Architecture – Main Development Trends [Adaptivnaya arkhitektura – osnovnie napravleniya razvitiya] Izvestiya Vuzov. Investments. Construction. Real Estate. 2024. 14(2). Pp. 406–417. DOI: 10.21285/2227-2917-2024-2-406-417. EDN: EMMSWC
6. Jungwon Y. Climate-adaptive Facade Design with Smart Materials: Evaluation and Strategies of Thermo-Responsive Smart Material Applications for Building Skins in Seoul. PLEA 2018: Smart and Healthy Within the Two-Degree Limit. Hong Kong, 2018. Pp. 620–626.
7. Agrawal K. Adaptive Architecture and Infection Prevention in Hospitals. International Journal of Scientific Research in Engineering and Management. 2024. Vol. 8, No. 4. Pp. 25–30. DOI: 10.55041/IJSREM30035
8. Zinoski M., Petrunova I., Brsakoska J. The Architecture of Public Buildings as a Transformative Model Toward Health and Sustainability. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2025. Vol. 22. Art. 736. DOI: 10.3390/ijerph22050736
9. Maciejko A., Grześkowiak M., Kowalska A. Climate and Sustainability in Architecture: Analysis of Challenges and Limitations for Universal Solutions in the Design of Single-Family. Human Factors in Architecture, Sustainable Urban Planning and Infrastructure. 2025. Vol. 191. Pp. 84–94. DOI: 10.54941/ahfe1006612
10. Fedosov S.V., Narmaniya B.E., Smirnova E.L., Konovalova V.S., Kasyanenko N.S. The Concept of "Building Life Cycle": On the Issue of Conceptualization [Ponyatie «zhiznennii tsikl zdaniya»: k voprosu o kontseptualizatsii]. Magazine of Civil Engineering. 2025. Vol. 20. No. 4. Pp. 584–595. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.4.584-595 (rus)
11. Gorbanueva E.P., Kosovtseva I.A., Kstenin T.V. Optimization of Economic Outcomes from Implementing Energy-Saving Measures over the Full Life Cycle of a Capital Construction Project [Optimizatsiya ekonomicheskikh rezultatov vnedreniya energosberegayushchikh meropriyatii v techenie polnogo zhiznennogo tsikla obekta kapitalnogo stroitelstva]. Real Estate: Economics, Management. 2023. No. 4. Pp. 45–49. (rus)
12. Suleymanova L.A., Obaidi A.A. Building Life Cycle Management at the Operation Stage Using Artificial Neural Network and Machine Learning Models [Upravlenie zhiznennim tsiklom zdaniya na etape ekspluatatsii s ispolzovaniem modelei iskusstvennikh neironnikh setei i mashinnogo obucheniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 3. Pp. 38–46. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-3-38-46 (rus)
13. Glagolev E.S., Suleymanova L.A., Marushko M.V. Development of Housing Construction in Russia [Razvitie zhilishchnogo stroitelstva v Rossii]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 1. Pp. 17–22. DOI: 10.12737/23587 (rus)
14. Grazhdankin A.A., Ivanchenko V.T., Pis'mensky A.V. Mathematical Modeling of Heat Transfer through Enclosing Structures [Matematicheskoe modelirovanie teploperedachi cherez ograzhdayushchuyu konstruktsiyu]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 6. Pp. 29–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-6-29-39 (rus)
15. Vytchikov Yu.S., Belyakov I.G., Saparyov M.E. Mathematical Modeling of Unsteady Heat Transfer through Building Enclosing Structures under Intermittent Heating Conditions [Matematicheskoe modelirovanie protsessa nestatsionarnoi teploperedachi cherez stroitelnie ograzhdayushchie konstruktsii v usloviyakh prerivistogo otopeniya]. International Research Journal. 2016. Pp. 42–48. DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.180 (rus)
16. Popov I.V., Fryazinov I.A. Method of Adaptive Artificial Viscosity for Solving the Navier–

Stokes Equations System [Metod adaptivnoi iskusstvennoi vyazkosti dlya resheniya sistemi uravnenii Nave–Stoksa]. Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2015. Vol. 55. No. 8. Pp. 1356–1362. DOI: 10.7868/S0044466915080141 (rus)

17. Kulikov I.M., Karavaev D.A. Piecewise-Parabolic Reconstruction of Physical Variables in the HLL Method for Solving Equations of Relativistic Hydrodynamics [Kusochno-parabolicheskaya rekonstruktsiya fizicheskikh peremennikh v metode HLL pri reshenii uravnenii relyativistskoi gidrodinamiki]. Siberian Journal of Numerical Mathematics / Russian Academy of Sciences, Siberian Branch. Novosibirsk, 2023. Vol. 26. No. 1. Pp. 57–75. (rus)

18. Boykov I.V., Ryazantsev V.A. Development of Adaptive Finite-Difference Schemes for Solving the Heat Conduction Equation [Postroenie adaptivnykh raznostnykh skhem resheniya uravneniya teploprovodnosti]. Universities' Proceedings. Volga Region. 2017. No. 1(41). Pp. 68–81. DOI: 10.21685/2072-3040-2017-1-7 (rus)

19. Belov M.P., Sinyakov R.I. Lattice Dynamics and Nonlinear Response of BCC-Titanium to Deformation at High Temperature by the ab initio Molecular Dynamics Method [Dinamika reshetki i nelineinii otklik OTsK-titana na deformatsii pri vysokoi temperature v metode ab initio molekulyarnoi dinamiki]. Physics of the Solid State. 2022. Vol. 64. No. 8. Pp. 915–919. DOI: 10.21883/FTT.2022.08.52682.362 (rus)

20. Shabolovskiy O.N., Krol D.G., Kontsevaya I.A. Strong Physical Nonlinearity and Spatial Inhomogeneity of Thermal Fields in Single-Component and Two-Component Systems [Silnaya fizicheskaya nelineinost i prostranstvennaya neodnorodnost teplovikh polei v odnokomponentnykh i dvukhkompomentnykh sistemakh]. Bulletin of Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi. 2014. No. 1. Pp. 97–107. (rus)

21. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., et al. (eds.)]. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

#### *Information about the authors*

**Oparina, Lyudmila A.** Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Production Organization and Urban Economy. E-mail: I.A.Oparina@gmail.com. Ivanovo State Polytechnic University. Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky Prospekt, 21.

**Ogurtsov, Valery A.** Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction and Engineering Systems. E-mail: ogurtzovvawork@mail.ru.. Ivanovo State Polytechnic University. Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky Prospekt, 21.

**Vlasova, Ekaterina A.**, Postgraduate student. E-mail: vkatru@mail.ru. Ivanovo State Polytechnic University. Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky Prospekt, 21.

**Obukhova, Yulia D.**, Postgraduate student. E-mail: ooobuhova@yandex.ru. Ivanovo State Polytechnic University. Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky Prospekt, 21.

*Received 29.09.2025*

#### **Для цитирования:**

Опарина Л.А., Огурцов В.А., Власова Е.А., Обухова Ю.Д. Управление адаптивного проектирования многоквартирных домов в течение их жизненного цикла // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 2. С. 30–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-2-30-38

#### **For citation:**

Oparina L.A., Ogurtsov V.A., Vlasova E.A., Obukhova Y.D. Equation for adaptive design of apartment buildings during their lifecycle. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 2. Pp. 30–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-2-30-38