

### **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**Р. Ю. Клычников, П. В. Монастырев, В. А. Езерский**

*АНО «Тамбовский центр судебных экспертиз и исследований»,  
г. Тамбов, Россия; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный  
технический университет», г. Тамбов, Россия;  
Белостокский технический университет, г. Белосток, Польша*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор В. П. Ярцев*

**Ключевые слова:** тепловая защита; термомодернизация; чистая дисконтируемая экономия средств; экономическая эффективность.

**Аннотация:** Рассмотрены аспекты влияния конструктивных решений ограждающих конструкций жилых зданий на параметры оптимальной последовательности термомодернизации жилых зданий градостроительного образования, а также ее экономическую эффективность. Выявлены количественные значения оптимальных параметров, рекомендуемые для практической имплементации.

Выбор обоснованных параметров тепловой защиты отдельных существующих и проектируемых зданий является актуальной прикладной задачей и широко рассматривается в научных публикациях последних лет [1 – 4]. Сложность задачи возрастает, когда разрабатываются программы термомодернизации больших групп жилых домов, не удовлетворяющих современным требованиям тепловой защиты. В средних и малых городах РФ такие группы домов часто состоят из нескольких подгрупп типовых жилых зданий, каждая из которых представлена зданиями одной и той же

---

Клычников Роман Юрьевич – кандидат технических наук, эксперт, АНО «Тамбовский центр судебных экспертиз и исследований», г. Тамбов, Россия; Монастырев Павел Владиславович – доктор технических наук, доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», директор института архитектуры, строительства и транспорта, e-mail: monasturev68@mail.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов, Россия; Езерский Валерий Александрович – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Основы строительства и защита зданий», Белостокский технический университет, г. Белосток, Польша.

серии. В такой ситуации, кроме обоснования факторов, характеризующих системы теплозащиты, приходится принимать решение об установлении последовательности выполнения модернизации зданий, отличающихся этажностью, строительной и конструктивной системой, материалом конструкций.

Решение данной проблемы может быть достигнуто лишь за счет модернизации устаревшего жилищного фонда с приведением его в соответствие с действующими нормативными требованиями. Очевидно, что реализация программы модернизации больших групп жилых домов того или иного городского поселения требует существенной теоретической подготовки.

Довольно любопытный подход к решению данной задачи представлен в [5] на примере провинции Утрехт в Нидерландах. Подобные исследования ведутся и в нашей стране [1, 6 – 9]. В статье представлена разработанная методика оптимизации термомодернизации градостроительного образования. В работе [10] приведен пример реализации оптимизации термомодернизации градостроительного образования. Кратко опишем его для лучшего восприятия хода настоящего исследования.

Оптимизация процесса термомодернизации произвольного градостроительного образования осуществлена на примере группы, состоящей из 720 жилых зданий, которые представлены 12-ю типами, включающими по 60 зданий. Климатические условия района строительства характеризовались величиной ГСОП = 4763,7 К·сут. (градо-сутки отопительного периода). Экономические условия реализации планируемой программы термомодернизации характеризовались постоянными показателями: нормой дисконта 7 %; темпами роста тарифов на тепловую энергию 12 % в год; текущим тарифом на тепловую энергию 45 USD/Гкал (при курсе 1 USD = 30 р.). Общая характеристика жилых зданий представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Состав исследуемой группы жилых зданий и фактические теплозащитные характеристики наружных ограждающих конструкций**

Номер типа здания	Строительная система здания	Номер типового проекта	Число секций	Фактические теплозащитные характеристики наружных ограждающих конструкций $R_i, \text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$			
				стен	оконных заполнений	перекрытий	
						чердачного	цокольного
1	Кирпичная	1-447	2	0,904	0,300	1,040	0,964
2			4				
3			6				
4			8				
5	Крупнопанельное домостроение	1-464	2	1,010	0,300	0,700	0,683
6			4				
7			6				
8			8				
9		111-90	2	1,083	0,350	0,894	1,229
10			4				
11			6				
12			8				

В расчетах принималось, что активная фаза проведения программы термомодернизации продлится в течение 12 лет. При этом предполагалось, что ежегодно за данный период будет модернизировано одинаковое число эквивалентных объемов зданий, принятое равным 231,70 экв.ед./год.

Планировалось, что термомодернизация каждого здания в отдельности включает в себя утепление наружных стен, чердачных и цокольных перекрытий, а также замену оконных заполнений. С учетом этого при локальной оптимизации термомодернизации отдельного дома находилось обоснованное сочетание следующих параметров:

– тип системы дополнительного утепления наружных стен (фактор  $X_1$ ): утепление по системе «мокрого» фасада с использованием в качестве материала утеплителя плит из экструдированного пенополистирола «Пеноплекс С» или минераловатных плит марки «Изовент»; по системе вентилируемого фасада с облицовкой из алюминиевых композитных панелей и с использованием в качестве материала утеплителя минераловатных плит марки «Изовент»;

– толщина слоя дополнительной теплоизоляции наружных стен  $\delta_{стен}^{доп}$  (фактор  $X_2$ ) в рассматриваемых системах утепления: 0,05; 0,1 и 0,15 м;

– сопротивление теплопередаче  $R$  вновь устанавливаемых оконных и дверных балконных заполнений термомодернизируемого здания  $R_{ок}^{нов}$  (фактор  $X_3$ ): равным 0,54; 0,71 и 1,02 м<sup>2</sup>·°С/Вт;

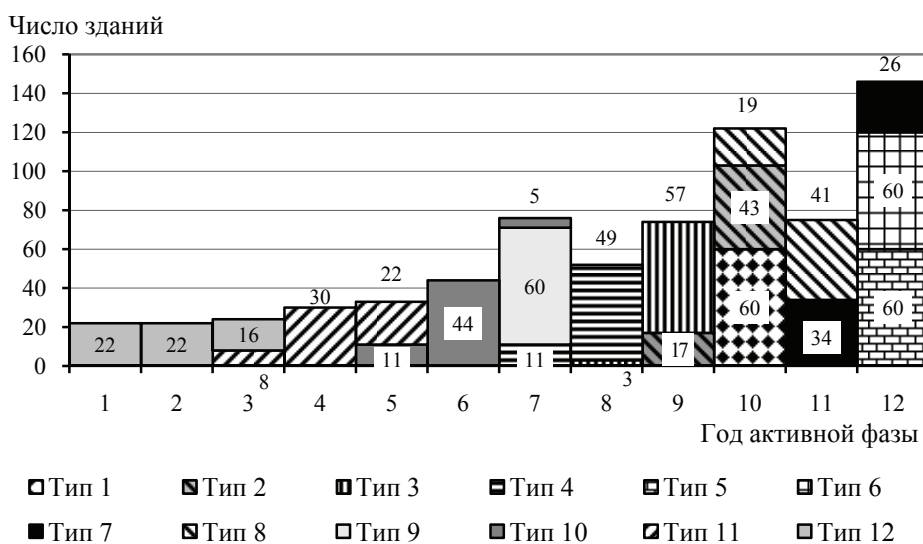
– тип материала слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия (фактор  $X_4$ ): 1) плиты из экструдированного пенополистирола «Пеноплекс К»; 2) минераловатные плиты марки «Изоруф»; 3) пеностекло (130...190 кг/м<sup>3</sup>; 0,08 Вт/(м<sup>2</sup>·°С));

– толщина слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия  $\delta_{черд}^{доп}$  (фактор  $X_5$ ): 0,05; 0,1 и 0,15 м;

– толщина слоя дополнительной теплоизоляции перекрытия первого этажа  $\delta_{цок}^{доп}$  (фактор  $X_6$ ), м. Рассматривалось дополнительное утепление минераловатными плитами марки «Изофлор».

По результатам расчетов выявлена оптимальная последовательность термомодернизации рассматриваемой группы жилых зданий и ряд условий, ее обеспечивающих. Под оптимальной последовательностью термомодернизации в исследовании понималось такое распределение типов термомодернизируемых зданий и их числа по годам активной фазы реализации программы, которое обеспечивало бы максимальный экономический эффект от мероприятия.

Полученные данные позволили построить гистограмму (рис. 1) оптимального варианта последовательности, обеспечивающего максимальный экономический эффект в виде суммарной чистой дисконтируемой экономии средств (ЧДЭС) за весь срок службы теплозащитных мероприятий в размере 2425 128 063 USD. Столбцы гистограммы показывают число зданий, модернизированных в каждый год из 12 лет активной фазы программы. Штриховкой и цифрами на отдельных участках столбцов показаны типы рассматриваемых зданий и их число.



**Рис. 1. Гистограмма оптимальной последовательности термомодернизации рассматриваемой группы жилых зданий**

Решением каждой задачи оптимизации является установление экстремумов изучаемой функции и значений факторов, при которых функция их достигает. Эти значения факторов называют оптимальными. Поскольку функции, описывающие современные сложные процессы и явления, часто связаны с влияющими факторами довольно непростыми зависимостями, то наиболее приемлемыми подходами к решению задач оптимизации являются численные методы, реализуемые на компьютерах.

Изучение влияния факторов на исследуемую функцию в задачах оптимизации является логически бессмысленным, так как главная и конечная цель – установление оптимальных значений данных факторов. В то же время и на экстремальные значения функции, и на оптимальные значения факторов возможно существенное влияние начальных условий или исходных данных, принятых для решения задачи, которые могут варьироваться в широких пределах, что существенно влияет на результаты оптимизации.

В рассматриваемом примере установлено, что эффективность реализации программы термомодернизации повышается при соответствующей последовательности реализации термомодернизации жилых зданий. Замена наихудшей последовательности реализации термомодернизации на наилучшую дает повышение ЧДЭС на 8,53 %. Однако возможно, что при изменении начальных условий задачи эффективность реализации программы будет колебаться как в сторону ее повышения, так и в сторону снижения. В этой связи оценка влияния начальных условий фактических теплозащитных характеристик ограждающих конструкций жилых зданий на величину ЧДЭС и оптимальные значения факторов является важной задачей и представляет большой научный и практический интерес.

Основными теплозащитными характеристиками наружной оболочки здания являются приведенные сопротивления теплопередаче ее составных элементов – наружных стен, оконных заполнений, чердачного и цокольно-

го перекрытий. Данные величины в совокупности определяют трансмиссионные теплопотери здания, снижение которых является одной из целей термомодернизации. Очевидным представляется тот факт, что чем ниже исходное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций модернизируемого здания, тем выше его энергосберегающий потенциал. Одновременно подразумеваются большие инвестиционные вложения при утеплении такого дома, которые необходимо как минимум окупить за срок службы реализуемых теплозащитных мероприятий, или лучше превысить вложения. В определенных экономических условиях высокое исходное значение сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций представляется нам вполне позитивным фактором.

Задачей настоящего анализа явилась оценка влияния колебаний как в меньшую, так и в большую сторону исходного значения величины приведенного сопротивления теплопередаче того или иного элемента наружной оболочки здания  $R_i$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , на общую эффективность реализуемой программы термомодернизации. Для получения наиболее объективных и практически полезных результатов рассматривалась совокупность конструктивных элементов, формирующих практически полностью наружную оболочку здания: наружные стены, оконные заполнения, перекрытия чердачное и цокольное. Иными словами, исследовалось влияние колебания начального значения сопротивлений теплопередаче наружных стен  $R_{\text{ст}}$ , оконных заполнений  $R_{\text{ок}}$ ; чердачного  $R_{\text{чер}}$  и цокольного  $R_{\text{цок}}$  перекрытий.

В представленном примере данные начальные условия приняты фиксированными в соответствии с фактическими теплозащитными свойствами соответствующих элементов наружной оболочки рассматриваемых зданий, установленных на основе проектной документации. Бесспорно, что в реальной строительной практике фактические значения  $R_{\text{ст}}$ ,  $R_{\text{ок}}$ ,  $R_{\text{чер}}$ ,  $R_{\text{цок}}$  могут колебаться в широких пределах.

Варьирования исходных параметров теплозащиты  $R_i$  элементов наружной оболочки сопряжено с тем, что их значения могут существенно изменяться для зданий различных периодов постройки и климатических условий районов строительства. Наличие данных о влиянии колебания начальных параметров тепловой защиты элементов ограждающих конструкций на экономическую эффективность позволит еще на стартовом этапе понимать фундаментальные направления и принципы планирования всей программы для конкретных условий.

Широкий диапазон изменений в различных условиях параметров тепловой защиты  $R_{\text{ст}}$ ,  $R_{\text{ок}}$ ,  $R_{\text{чер}}$ , и  $R_{\text{цок}}$  предполагает изучение диапазона их варьирования – от  $0,7R_i$  до  $1,3R_i$ , где  $R_i$  – величина сопротивления теплопередаче соответствующего элемента. Для расчетов принято по три значения каждого параметра:  $R_{\text{ст}}$  ( $0,7R_{\text{ст}}$ ;  $R_{\text{ст}}$ ;  $1,3R_{\text{ст}}$ );  $R_{\text{ок}}$  ( $0,7R_{\text{ок}}$ ;  $R_{\text{ок}}$ ;  $1,3R_{\text{ок}}$ );  $R_{\text{чер}}$  ( $0,7R_{\text{чер}}$ ;  $R_{\text{чер}}$ ;  $1,3R_{\text{чер}}$ ) и  $R_{\text{цок}}$  ( $0,7R_{\text{цок}}$ ;  $R_{\text{цок}}$ ;  $1,3R_{\text{цок}}$ ).

Расчеты проводились для той же группы жилых зданий. Другие начальные условия, принятые в примере, оставались без изменений. Изменялись только показанные в табл. 1 значения  $R_{\text{ст}}$ ,  $R_{\text{ок}}$ ,  $R_{\text{чер}}$ , и  $R_{\text{цок}}$ .

Таблица 2

**ЧДЭС, USD, при термомодернизации жилых зданий  
в зависимости от величины исходного сопротивления  
теплопередаче  $R_i$  для каждой из наружных  
ограждающих конструкций здания**

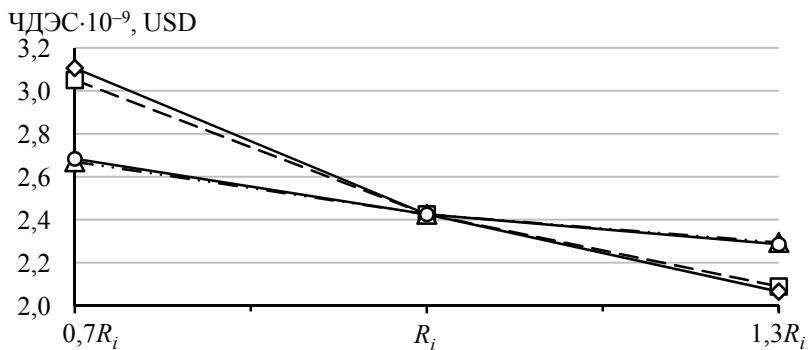
Ограждающая конструкция	Сопротивление теплопередаче ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$		
	$0,7R_i$	$R_i$	$1,3R_i$
Наружные стены, $i = 1$	<u>3 050 226 776</u> 6,67	<u>2 425 128 063</u> 8,53	<u>2 088 389 214</u> 10,04
Оконные заполнения, $i=2$	<u>3 106 694 050</u> 7,92	<u>2 425 128 063</u> 8,53	<u>2 064 835 700</u> 9,11
Перекрытие чердачное, $i = 3$	<u>2 669 487 350</u> 9,21	<u>2 425 128 063</u> 8,53	<u>2 293 549 066</u> 8,11
Перекрытие цокольное, $i = 4$	<u>2 683 787 570</u> 8,81	<u>2 425 128 063</u> 8,53	<u>2 285 848 948</u> 8,36

Пр и м е ч а н и е. В знаменателе показано  $\Delta y_i$ , %.

Для совокупностей их значений с помощью компьютерной модели [9] рассчитывалась максимальная величина ЧДЭС и определялась оптимальная последовательность термомодернизации с оптимальными параметрами тепловой защиты для каждого типа зданий. Одновременно выполнялся расчет показателей при наихудшей последовательности реализации программы с минимальной величиной ЧДЭС. Превышение  $\Delta y_i$ , %, оптимальной ЧДЭС над ее минимальной величиной, которое косвенно характеризовало эффект или вклад последовательности реализации термомодернизации в повышение эффективности проекта, находится по формуле

$$\Delta y_i = (\text{ЧДЭС}_{\text{опт}} - \text{ЧДЭС}_{\text{мин}}) \cdot 100 / \text{ЧДЭС}_{\text{мин}}$$

После реализации вычислительных процедур получены результаты расчетов, представленные в табл. 2. Анализ данных в табл. 2 и рис. 2 показывает, что с увеличением исходного сопротивления теплопередаче  $R_i$  для



**Рис. 2. График зависимости ЧДЭС от величины исходного сопротивления теплопередаче  $R_i$  для каждой из наружных ограждающих конструкций здания:**

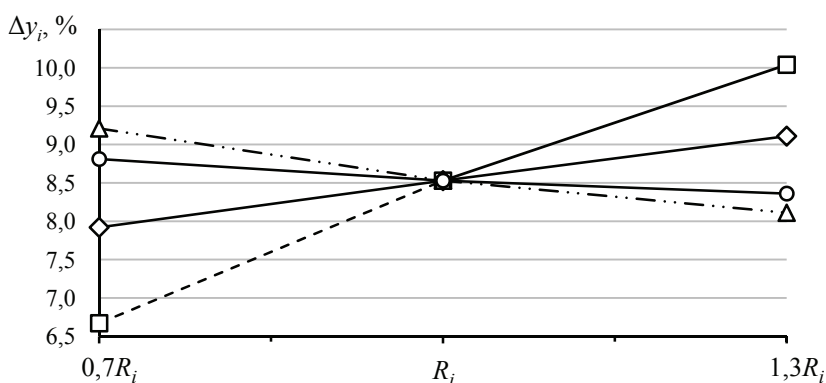
- □ - - стены; - ◇ - оконные заполнения;  
- △ - , - ○ - чердачное и цокольное перекрытия

каждой из наружных ограждающих конструкций здания величина ЧДЭС существенно уменьшается, но при этом неравномерно. По отношению к ЧДЭС, полученной для принятых в примере величин  $R_{ст}$ ,  $R_{ок}$ ,  $R_{чер}$  и  $R_{цок}$ , уменьшение составило: для интервалов изменения  $0,7R_{ст} \dots R_{ст}$ ,  $0,7R_{ок} \dots R_{ок}$ ,  $0,7R_{чер} \dots R_{чер}$ ,  $0,7R_{цок} \dots R_{цок}$  соответственно 25,8; 28,1; 10,1 и 10,7 %; для интервалов изменения  $R_{ст} \dots 1,3R_{ст}$ ,  $R_{ок} \dots 1,3R_{ок}$ ,  $R_{чер} \dots 1,3R_{чер}$  и  $R_{цок} \dots 1,3R_{цок}$  соответственно 13,9; 14,9; 5,4 и 5,7 %.

Как видно из рис. 2, кривые зависимости ЧДЭС от  $R_i$  образовали две группы: первая – для вертикальных конструкций (стен и окон), вторая – для горизонтальных конструкций (чердачных и цокольных перекрытий). В каждой группе кривые сближены и сохраняют одинаковый характер влияния во всем диапазоне. Однако характер влияния групп кривых различается. Так увеличение  $R_{ст}$ ,  $R_{ок}$  (кривые первой группы) сопровождается более сильным снижением ЧДЭС (39,7 и 43,0 %) по сравнению с увеличением  $R_{чер}$  и  $R_{цок}$ , относящимся ко второй группе (15,5 и 16,4 %). На долю наружных стен и оконных заполнений приходится основная часть трансмиссионных потерь, тогда как через перекрытия уходит значительно меньше тепла. Следовательно, высокое стартовое значение сопротивления теплопередаче вертикального ограждения подразумевает то, что при его модернизации можно добиться значительно меньшей экономии тепловой энергии и резкого снижения общей величины ЧДЭС. В ходе исследования параметры  $R_{ст}$ ,  $R_{ок}$ ,  $R_{чер}$  и  $R_{цок}$  выявили наиболее сильное влияние на формирование величины ЧДЭС.

На следующем этапе анализировались превышения  $\Delta u_i$ , характеризующие вклад оптимальной последовательности реализации проекта термомодернизации в суммарную величину экономии средств. Выявлено (см. табл. 2), что превышения  $\Delta u_i$  при изменении исходного сопротивления теплопередаче  $R_i$  для всех четырех элементов слабо изменяются по отношению к среднему значению 8,53 %. Только для стен с увеличением  $R_{ст}$  наблюдается увеличение превышения  $\Delta u_i$  с 6,67 до 10,64 %. При этом установлено, что с ростом  $R_{ст}$ ,  $R_{ок}$  (параметры первой группы) наблюдается небольшой рост превышений  $\Delta u_i$ , а с ростом  $R_{чер}$  и  $R_{цок}$  (параметры второй группы) превышения  $\Delta u_i$  незначительно снижаются. Таким образом установлено, что изменение сопротивления теплопередаче  $R_i$  для всех четырех элементов ограждающих конструкций слабо влияет на величину  $\Delta u_i$ . Сохранение превышений  $\Delta u_i$  на существенном уровне подтверждает, что на их величину влияют другие факторы и начальные условия. Их влияние и сохраняет в силе вывод о целесообразности рассмотрения в задаче оптимизации параметров термомодернизации группы зданий фактора  $X_7$  – последовательность реализации термомодернизации зданий (рис. 3).

Дальнейшим шагом в исследовании явилось рассмотрение группировки зданий в различных вариантах оптимальной последовательности термомодернизации группы жилых зданий (фактор  $X_7$ ) при изменении рассматриваемых начальных показателей тепловой защиты. Для условий



**Рис. 3.** Зависимость  $\Delta y_i$  от величины исходного сопротивления теплопередаче  $R_i$  для каждой из наружных ограждающих конструкций здания:  
 - □ - стены; - ◇ - оконные заполнения;  
 - △ - , - ○ - чердачное и цокольное перекрытия

$R_{ст}$ ,  $R_{ок}$ ,  $R_{чер}$ , и  $R_{цок}$  с коэффициентами 1 представлена оптимальная последовательность термомодернизации в виде гистограммы, на которой по годам активной фазы установлены типы и число зданий, подлежащих термомодернизации (см. рис. 1). Для установления зависимости группировки зданий от начальных условий  $R_{ст}$ ,  $R_{ок}$ ,  $R_{чер}$ , и  $R_{цок}$  построены аналогичные гистограммы для всех сочетаний исследуемых условий (см. табл. 2).

Сравнение данных гистограмм с последовательностью, представленной на рис. 1, позволило оценить влияние рассматриваемых начальных условий на оптимальную группировку зданий по годам. В результате выполненных расчетов и построений, а также проведенного анализа, выявлено, что при изменении всех сочетаний начальных условий, характеризуемых сопротивлением теплопередаче  $R_i$  для рассматриваемых четырех элементов тепловой защиты, получены полностью одинаковые гистограммы идентичные гистограмме на рис. 1, то есть установлено, что оптимальное распределение типов и числа зданий по годам не зависит от начальных условий  $R_{ст}$ ,  $R_{ок}$ ,  $R_{чер}$ , и  $R_{цок}$ . Следовательно, выявленная оптимальная последовательность реализации термомодернизации, установленная при учете других начальных условий, может быть принята для регионов с разными исходными уровнями тепловой защиты наружной оболочки здания.

В завершение анализа оценивалось влияние вида траектории изменения интенсивности термомодернизации на оптимальные значения  $X_1^0, X_2^0, \dots, X_6^0$  факторов, характеризующих параметры тепловой защиты каждого типа зданий. В таблице 3 представлены оптимальные значения факторов в зависимости от анализируемых начальных значений  $R_{ст}$ ,  $R_{ок}$ ,  $R_{чер}$ , и  $R_{цок}$ . Колебания в пределах 30 % исходных значений теплотехнических параметров элементов наружной оболочки не влияют на оптимальные значения факторов  $X_1^0, X_2^0, \dots, X_6^0$ , характеризующих тепловую защиту элементов ограждающих конструкций термомодернизируемых жилых зданий. Данный факт, несомненно, имеет важное практическое значение для распространения полученных результатов на иные районы строительства.

Таблица 3

**Оптимальные значения факторов, характеризующих тепловую защиту термомодернизируемых жилых зданий, для рассмотренных значений начальных теплотехнических свойств элементов наружной оболочки**

Факторы влияния	Оптимальные значения для всех рассмотренных видов траектории
$X_1^0$ – тип системы дополнительного утепления наружных стен	№ 3
$X_2^0$ – толщина слоя дополнительной теплоизоляции наружных стен $\delta_{стен}^{доп}$ , м	0,15
$X_3^0$ – сопротивление теплопередаче вновь устанавливаемых оконных заполнений термомодернизируемого здания $R_{ок}^{нов}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт	1,02
$X_4^0$ – тип материала слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия	№ 2
$X_5^0$ – толщина слоя дополнительной теплоизоляции чердачного перекрытия $\delta_{черд}^{доп}$ , м	0,15
$X_6^0$ – толщина слоя дополнительной теплоизоляции цокольного перекрытия $\delta_{цок}^{доп}$ , м	0,1

На основании результатов расчетов и проведенного анализа получена практически полезная информация о влиянии начальных параметров тепловой защиты  $R_{ст}$ ,  $R_{ок}$ ,  $R_{чер}$  и  $R_{цок}$ :

- на величину ЧДЭС от реализации программы термомодернизации;
- оптимальный выбор конечных параметров тепловой защиты термомодернизируемых зданий;
- оптимальный выбор числа и типа термомодернизируемых зданий по годам активной фазы реализации программы.

*Список литературы*

1. Езерский, В.А., Монастырев, П.В., Клычников, Р.Ю. Оптимизация параметров тепловой защиты здания по экономическому критерию / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников // Пром. и гражд. строительство. – 2010. – № 3. – С. 13 – 16.
2. Козлов, В. В. Основы оптимизации теплозащиты ограждающих конструкций по окупаемости энергосберегающих мероприятий // Строит. материалы. – 2013. – № 6. – С. 10 – 13.
3. Самарин, О. Д. Выбор оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий при реконструкции зданий образовательных учреждений / О. Д. Самарин // Жилищ. строительство. – 2015. – № 2. – С. 25 – 28.
4. Шеина, С. Г. Разработка алгоритма выбора энергоэффективных решений в строительстве [Электронный ресурс] / С. Г. Шеина, А. Н. Миненко // Инженер.

вестн. Дона. – 2012. – Т. 22, № 4-1 (22). – С. 131. – Режим доступа : <http://elibrary.ru/download/10017526.pdf> (дата обращения: 08.02.2016).

5. Рифкин, Д. Третья промышленная революция: Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом : пер. с англ. / Д. Рифкин. – М : Альпина нон-фикшн, 2014. – 410 с.

6. Болотин, С. А. Модель пространственно-временной аналогии в оптимизации последовательности реконструируемых объектов / С. А. Болотин, А. Х. Дадар, М. А. Котовская // Инженерно-строит. журн. – 2013. – № 7 (42). – С. 51 – 57.

7. Шеина, С. Г. Методика выбора организационно-технологических ресурсосберегающих решений в жилищном строительстве по многокритериальной системе оценки / С. Г. Шеина, А. Н. Миненко // Жилищ. строительство. – 2016. – № 6. – С. 42 – 45.

8. Езерский, В. А. Влияние параметров тепловой защиты здания на удельный расход тепловой энергии / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников // Жилищ. строительство. – 2010. – № 1. – С. 43 – 45.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014616197. Расчет эффективности термомодернизации градостроительного образования (CRC – City Retrofit Calculation) / Клычников Р. Ю., Монастырев П. В., Езерский В. А. ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Тамб. гос. техн. ун-т». – № 2014613695 ; заявл. 22.04.2014 ; зарег. в 16.06.2014 ; опубл. 20.07.2014. – 1 с.

10. Езерский, В. А. Последовательность термомодернизации жилых зданий и ее влияние на экономическую эффективность / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников // Жилищ. строительство. – 2015. – № 6. – С. 27 – 31.

#### References

1. Ezerskiy V.A., Monastirev P.V., Klychnikov R.Yu. [Optimization of Parameters of a Building's Thermal Protection from the Economic Point of View], *Promyshlennoe I grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering], 2010, no. 3, pp. 13-16. (In Russ.)

2. Kozlov V.V. [Fundamentals of Optimization of Enclosing Structures Thermal Protection with Due Regard for Payback of Energy-Saving Measures.], *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials], 2013, no. 6, pp. 10-13. (In Russ.)

3. Samarin O.D. [Selection of the Optimal Combination of the Energy Saving Measures During Renewal of Educational Buildings], *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing construction], 2015, no. 2, pp. 25-28. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Sheina S.G., Minenko A.N. [Development of complex energy efficient measurements' choice algorithm in construction processes], *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2012, vol. 22, no. 4-1 (22), p. 133, available at: <http://elibrary.ru/download/10017526.pdf> (accessed February 8, 2016). (In Russ.)

5. Rifkin J. *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*, N. Y.: St. Martin's Press, 2011, 304 p.

6. Bolotin S.A., Dadar A.Kh., Kotovskaya M.A. [The model of the space-time analogy in the optimization of the renovation order of buildings], *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2013, no. 7(42), pp. 51-57. (In Russ., abstract in Eng.)

7. Sheina S.G., Minenko E.N. [Methods for Choosing Organizational-Technological Resource Saving Solutions in Housing Construction by Multi-Criteria Evaluation System ], *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing construction], 2016, no. 6, pp. 42-45. (In Russ., abstract in Eng.)

8. Ezerskiy V.A., Monastyrev P.V., Klychnikov R.Yu. [Influence of thermal protection parameters of the building on the specific consumption of thermal energy], *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing construction], 2010, no. 1, pp. 43-45. (In Russ.)

9. Klychnikov R.Yu., Monastyrev P.V., Ezerskiy V.A., Tambov State Technical University, *Raschet effektivnosti termomodernizatsii gradostroitel'nogo obrazovaniya (CRC – City Retrofit Calculation)* [The calculation of the efficiency of urban education thermo (CRC – City Retrofit Calculation)], Russian Federation, 2014, Certificate of state registration of computer programs 2014616197. (In Russ.)

10. Ezerskiy V.A., Monastyrev P.V., Klychnikov R.Yu. [Sequence of Thermal Modernization of Residential Buildings and Its Impact on Economic Efficiency], *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing construction], 2015, no. 6, pp. 27-31. (In Russ., abstract in Eng.)

---

**The Influence of Design Solutions of Enclosing Structures of Residential Buildings on the Economic Efficiency of Thermo-Modernization of Town-Planning**

**R. Yu. Klychnikov, P. V. Monastyrev, V. A. Yezerskiy**

*Tambov Center of Legal Expertise and Research, Tambov, Russia;*  
*Tambov State Technical University, Tambov, Russia;*  
*Bialystok University of Technology, Bialystok, Poland*

**Keywords:** economic efficiency; net discounted savings; thermal protection; thermos-modernization.

**Abstract:** The paper considers the influence of design solutions of enclosing structures of residential buildings on the optimal sequence parameters of thermal modernization of residential buildings in urban areas, as well as its cost-effectiveness. The quantitative values of optimal parameters recommended for the practical implementation are found.

---

© П. Ю. Клычников, П. В. Монастырев,  
В. А. Езерский, 2016