

## СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

DOI 10.24412/2077-8481-2024-4-57-63

УДК 624.073.2

**М. А. ШКИЛЬНЮК**

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург, Россия)

### ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ИХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

#### Аннотация

Проведены исследование и анализ теплового потока в ограждающей конструкции разного технического состояния. Выявлено влияние показателя технического состояния ограждающих конструкций на их теплотехнические характеристики. Даны результаты фактических и теоретических значений теплотехнических характеристик. Приведены основные проблемы, возникающие при теплотехническом расчете.

#### Ключевые слова:

тепловой поток, теплотехнические характеристики, плотность теплового потока, теплотехника.

#### Для цитирования:

Шкильнюк, М. А. Влияние технического состояния ограждающих конструкций на их теплотехнические характеристики / М. А. Шкильнюк // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 4 (85). – С. 57–63.

#### Введение

Коммунальное хозяйство является одним из крупнейших энергетических потребителей в мире. Например, в Европе на отопление приходится 40 % от общего конечного потребления энергии в ЕС [1]. Отопление жилых помещений составляет 60 % от общего энергопотребления, 36 % выбросов углекислого газа [2, 3] и 50 % на спрос на электроэнергию [4] в мире. Наблюдается тенденция к увеличению интереса научного сообщества к исследованиям в области теплотехнических характеристик ограждающих конструкций, что отражено в количестве написанных научных работ: 3759 работ за 2021 г., 4400 работ за 2022 г., 5228 работ за 2023 г. и 2130 работ за четыре месяца 2024 г. Этот тренд свидетельствует о стремлении к разви-

тию более энергоэффективных материалов и поиску решений по уменьшению энергопотерь от зданий и сооружений. Однако в научной литературе и действующих нормативных документах Республики Беларусь и Российской Федерации теплотехнические свойства материалов рассматриваются как постоянные и не зависящие от сроков эксплуатации зданий или их технического состояния. Тем не менее, результаты экспериментов показывают обратное: теплотехнические характеристики ограждающих конструкций ухудшаются со временем так же, как уменьшается несущая способность этих конструкций.

Динамические тепловые характеристики внешних стеновых конструкций напрямую связаны с температурным комфортом в помещениях. Упрощенные методы расчета, изложенные в

нормативных документах, без дополнения аналитической оценки не обеспечивают полноту проводимых расчетов, а лишь содержат обобщенные, зачастую укрупненные значения и показатели, не привязанные к конкретному объекту. При этом моделирование в обязательном порядке включает в себя применение специализированных программ, позволяющих провести оценку рисков, аналитическую предиктивную оценку на конкретном объекте, основанную на искусственном интеллекте, современных технологиях и методах расчета [5, 6].

Цель исследования заключалась в сравнении фактических и теоретических теплотехнических значений и связь этих показателей с техническим состоянием ограждающей конструкции. Изучение тепловых характеристик ограждающих конструкций может помочь с выбором рационального решения по утеплению зданий, что повлечет за собой экономию как на материалах, так и на затратах энергии для поддержания комфортных условий в зданиях и сооружениях.

### Основная часть

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (покрытия) определяется согласно СП 2.04.01 [7]:

$$R_{np} = \frac{\sum_i A_i}{\sum_i R_{oi}} = R_{oi} = \frac{1}{a_e} + \sum R_{кн} + \frac{1}{a_n}, \quad (1)$$

где  $R_{np}$  – приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции;  $R_{oi}$  – сопротивление теплопередаче теплотехнически однородной части ограждающей конструкции;  $a_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции согласно СП 2.04.01,  $a_n = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;  $a_e$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции согласно СП 2.04.01,  $a_e = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;

*Строительство. Архитектура*

$R_{кн}$  – термическое сопротивление отдельного слоя ограждающей конструкции согласно СП 2.04.01.

$$R_{кн} = \frac{\delta_n}{\lambda_n}, \quad (2)$$

где  $\delta_n$  – толщина слоя, м;  $\lambda_n$  – расчетный коэффициент теплопроводности ограждающей конструкции в условиях эксплуатации согласно СП 2.04.01,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Минимальное приведенное сопротивление теплопередаче  $R_{m.min}$  рассчитывается согласно СП 2.04.01 по формуле

$$R_{m.min} = \frac{n \cdot (t_e - t_n)}{a_e \cdot \Delta t_e}. \quad (3)$$

В рамках исследования был применен измеритель плотности теплового потока и температуры ИТП-МГ 4.03/10(I) «ПОТОК». Данный прибор предназначен для измерения плотности теплового потока, проходящего через теплообменные поверхности теплоэнергетических объектов, а также температуры таких поверхностей и окружающих их газообразных и сыпучих сред. У прибора ИТП-МГ 4.03/10(I) «ПОТОК» пять датчиков измерения температуры и пять датчиков измерения теплового потока. Прибор представлен на рис. 1.

Исследования проводились в течение 72 ч: с 10.00 ч 5 февраля по 10.00 ч 8 февраля с интервалом измерений 6 ч, с использованием пяти датчиков теплового потока и пяти датчиков температуры.

5 февраля температура внутри помещения составляла 5 °С, снаружи – минус 4 °С. Результаты представлены в табл. 1.

7 февраля температура внутри помещения составляла 6 °С, снаружи – 1 °С. Результаты представлены в табл. 2.

8 февраля температура внутри помещения составляла 4 °С, снаружи –

минус 11 °С. Результаты представлены в табл. 3.

По результатам исследования получено приведенное сопротивление

теплопередаче конструкции чердачного перекрытия, показатели которого были значительно ниже расчетных и нормативных значений.

Табл. 1. Результаты измерения прибора ИТП-МГ4.03/10(I) «ПОТОК» 5 февраля

Номер измерения	$q_1$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_2$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_3$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_4$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_5$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_1$ , °С	$t_2$ , °С	$t_3$ , °С	$t_4$ , °С	$t_5$ , °С
1	10,1	8,9	13,4	13,5	9,9	5,5	4,2	5,3	4,2	3,2
2	11,1	8,7	13,1	13,5	10,2	5,3	4,2	5,2	4,1	2,8
3	12	8,8	13	14	10,3	5,3	4,2	5,2	4,2	2,9
4	12,6	8,8	12,9	14,2	10,5	5,2	4	5,2	4,1	2,8
5	13,1	8,9	12,9	14,6	10,6	5,3	4,2	5,2	4,3	3,2
6	13,3	8,8	12,8	14,5	10,6	5,3	4,2	5,2	4,3	3,2
7	13,4	8,6	12,8	13,7	10,9	5,2	4,1	5,2	4,1	2,7
8	13,7	8,9	12,7	14,5	10,8	5,1	4	5,2	4,1	2,9
9	14	8,4	12,7	14,1	11,3	4,9	3,8	5,1	3,8	2,4
10	14,4	8,9	12,8	14,5	11,6	4,9	3,9	5,1	3,9	2,5
11	14,7	8,9	12,8	14,8	11,7	4,8	3,9	5,1	3,8	2,4
12	14,9	8,7	12,9	15	11,9	5	4	5,1	4	2,6

Табл. 2. Результаты измерения прибора ИТП-МГ4.03/10(I) «ПОТОК» 7 февраля

Номер измерения	$q_1$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_2$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_3$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_4$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_5$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_1$ , °С	$t_2$ , °С	$t_3$ , °С	$t_4$ , °С	$t_5$ , °С
1	10,9	11,1	8,1	7,9	8,6	6,1	7,7	6,5	5,6	6
2	11,5	10,3	7,9	7,6	8,2	6	7,8	6,5	5,6	6
3	11,8	10	8	7,6	8,2	5,9	7,8	6,5	5,6	6
4	12	9,9	8,1	7,7	8,3	5,9	7,9	6,6	5,6	6
5	12	9,9	8,1	7,7	8,5	5,9	7,9	6,6	5,7	6
6	11,9	9,9	8,2	7,8	8,7	5,9	8	6,6	5,7	6
7	12,1	9,9	8,3	7,9	8,8	5,8	8	6,6	5,7	6
8	12,2	10	8,3	7,9	8,9	5,8	8	6,6	5,7	6
9	12,3	10	8,4	8	9,1	5,8	8	6,7	5,7	6
10	12,4	10	8,4	8,1	9,2	5,8	8,1	6,7	5,7	6
11	12,4	10	10,1	8,1	9,2	5,8	8,1	6,7	5,7	6
12	12,5	10	9,9	8,1	9,3	5,8	8,1	6,7	5,7	6

Табл. 3. Результаты измерения прибора ИТП-МГ4.03/10(І) «ПОТОК» 8 февраля

Номер измерения	$q_1$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_2$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_3$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_4$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q_5$ , Вт/м <sup>2</sup>	$t_1$ , °С	$t_2$ , °С	$t_3$ , °С	$t_4$ , °С	$t_5$ , °С
1	3,7	2,2	8,4	6,1	6,5	4,4	5,2	5,1	5,5	6,4
2	3,6	2,4	8,3	5,9	6,7	4,5	5,3	5,3	5,6	6,5
3	3,5	2,6	8,1	5,9	6,8	4,5	5,4	5,4	5,7	6,6
4	3,1	2,7	8	5,8	6,8	4,6	5,5	5,5	5,8	6,6
5	3	2,7	7,9	5,8	6,8	4,7	5,6	5,6	5,8	6,6
6	2,8	2,8	9,7	5,8	6,7	4,7	5,7	5,7	5,9	6,7
7	2,7	2,8	8,3	5,8	6,6	4,8	5,7	5,8	5,9	6,7
8	2,9	2,8	8	5,8	6,5	4,8	5,8	5,8	5,9	6,7
9	3	2,8	7,8	5,7	6,5	4,9	5,8	5,9	6	6,8
10	2,6	2,8	7,7	5,7	6,5	5	5,8	6	6	6,8
11	2,4	2,8	7,5	5,7	6,4	5	5,9	6	6,1	6,8
12	2,3	2,8	7,3	5,6	6,3	5	5,9	6,1	6,1	6,9



Рис. 1. Измеритель плотности теплового потока

В ходе выполнения диагностики чердачных перекрытий двух зданий проведены теплотехнические расчеты согласно действующей нормативной документации СП 2.04.01, СН 2.04.02. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Как видно, приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций ухудшается с течением времени. В первом варианте значение ухудшилось на 14,46 %, во втором – на 7,36 %.

Табл. 4. Результаты сопротивления теплопередаче чердачных перекрытий

Вариант полученных данных	Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции для первого здания $R_{пр}$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт	Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции для второго здания $R_{пр}$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт	Примечание
1	<b>1,080</b>	1,419	Нормативное приведенное сопротивление теплопередаче конструкции чердачного перекрытия
2	<b>1,009</b>	1,403	Фактическое приведенное сопротивление теплопередаче конструкции чердачного перекрытия
3	<b>0,863</b>	1,314	Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции чердачного перекрытия, полученное экспериментальным путем с использованием оборудования

Ограждающие конструкции чердачного перекрытия в двух случаях имеют одинаковые толщины и материалы, из которых были сделаны, также совпадают и условия эксплуатации чердачных помещений. За 85 лет эксплуа-

тации теплотехнические характеристики понизились на 14,46 % от первоначальных. За 34 года эксплуатации теплотехнические характеристики понизились на 7,36 % от первоначальных (рис. 2).

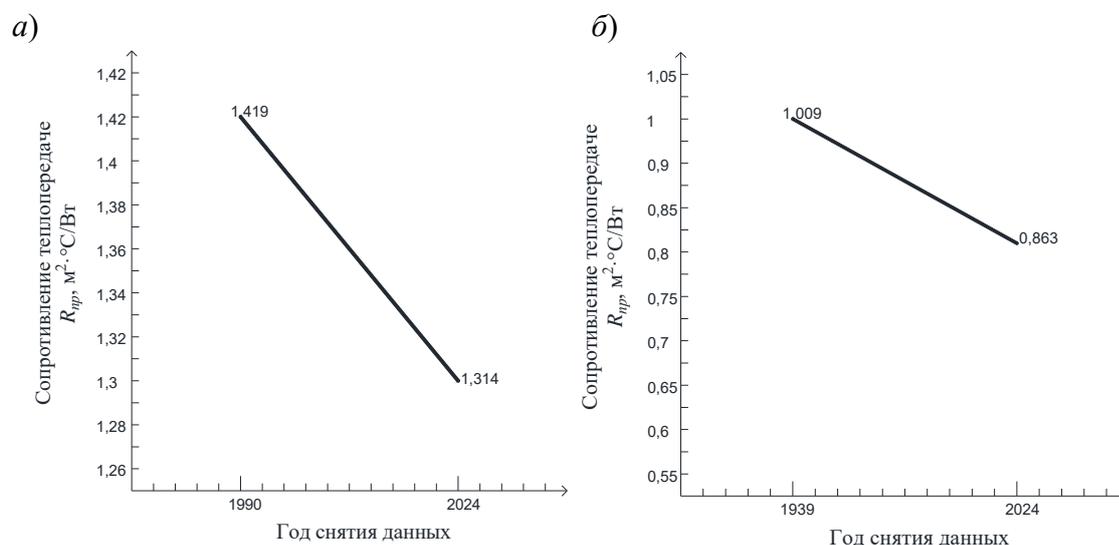


Рис. 2. Изменение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции чердачных перекрытий с течением времени: а – для первого здания; б – для второго здания

Цель проводимого эксперимента – узнать влияние технического состояния ограждающих конструкций на их теплотехнические характеристики. С помощью приборов были получены данные сопротивления теплопередаче огражда-

ющей конструкции. Техническое состояние чердачного перекрытия первого здания по результатам обследования было признано 3-й кат., чердачное перекрытие второго здания – 2-й кат.

Полученные данные статистиче-

ски обработаны. По критерию Колмогорова – Смирнова уровень значимости  $p$  был более 0,2. Построены вероятностные графики. На основании этого сделан вывод, что данные нормально распределены. Уровень значимости  $p$  по

$t$ -критерию Стьюдента был значительно ниже 0,05, на основании чего можно сделать вывод, что фактор технического состояния здания влияет на теплотехнические характеристики (рис. 3 и 4).

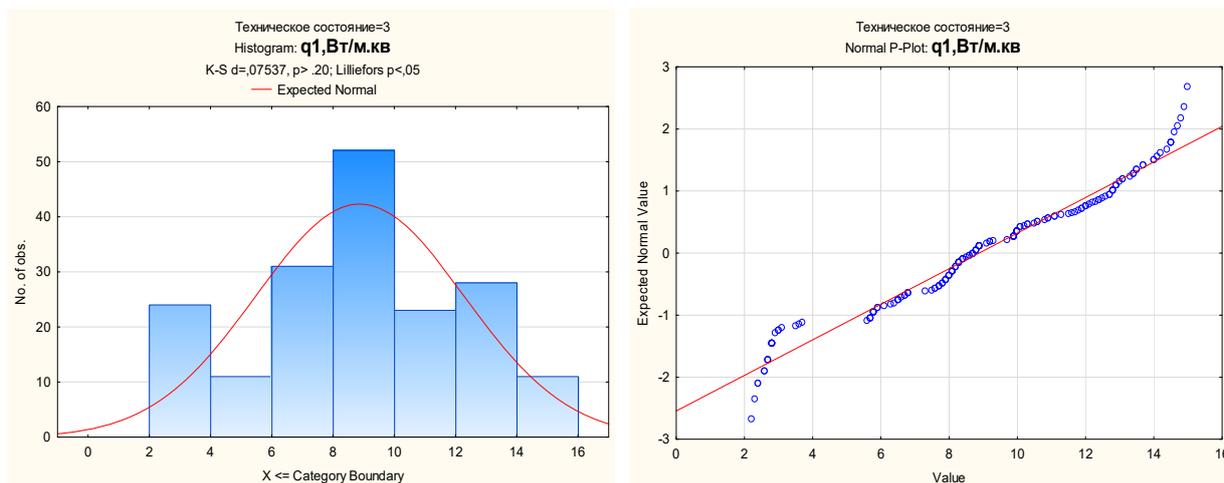


Рис. 3. Графики нормального распределения значений и разброса полученных значений для первого здания

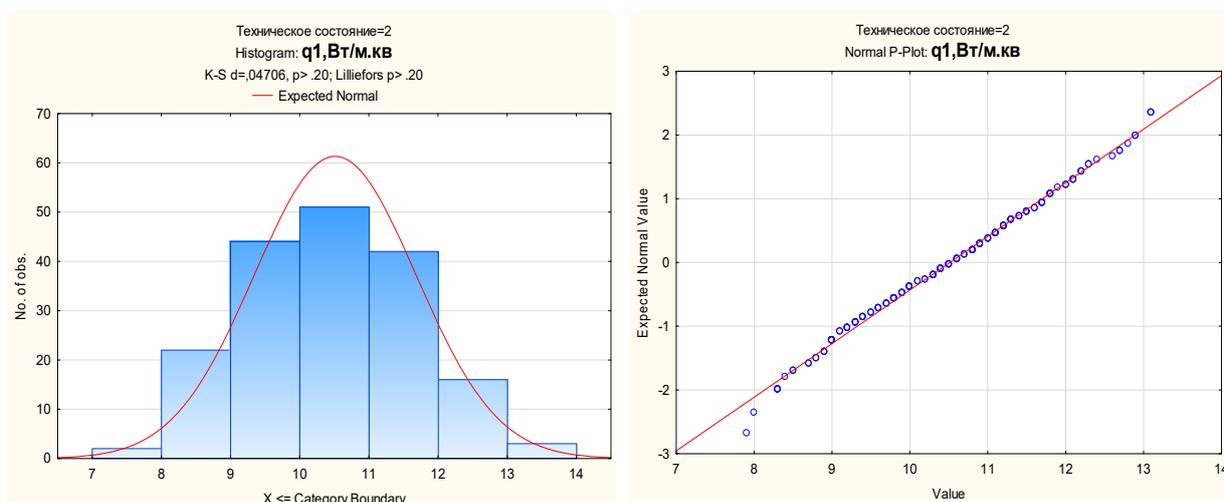


Рис. 4. Графики нормального распределения значений и разброса полученных значений для второго здания

### Выводы

Действующая система оценки теплотехнических характеристик ограждающих конструкций как в Республике Беларусь, так и в Российской Федера-

ции, требуют своего уточнения и модернизации. Внедрение новых способов оценки приведет к улучшению жилищных условий в построенных зданиях и своевременному капитальному ремонту. В ходе проведенного исследования

можно сделать следующие выводы.

1. Упрощенный теплотехнический расчет приводит к последующему упрощенному конструированию тепловой защиты зданий и сооружений. Это выражается в нерациональном запасе закладываемого утеплителя, что приводит к увеличению стоимости строительства и наличию ошибок при проектировании.

2. Использование программного обеспечения позволяет проводить под-

бор тепловой защиты зданий и сооружений без ошибок на этапе проектирования.

3. Теплотехнические характеристики зданий и сооружений со временем ухудшаются. Для качества их машинного расчета необходимо введение поправочного коэффициента.

4. Техническое состояние зданий имеет существенное влияние на теплотехнические показатели ограждающих конструкций.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Hamdy, M.** A Multi-Stage Optimization Method for Cost-Optimal and Nearly-Zero-Energy Building Solutions in Line with the EPBD-Recast 2010 / M. Hamdy, A. Hasan, K. Siren // *Energy and Buildings*. – 2013. – Vol. 56. – P. 189–203.
2. **Poel, B.** Energy performance assessment of existing dwellings / B. Poel, G. van Cruchten, C. A. Balaras // *Energy and Buildings*. – 2007. – Vol. 39, № 4. – P. 393–403.
3. **Alhaj Hasan, O.** A Simplified Building Thermal Model for the Optimization of Energy Consumption: Use of a Random Number Generator / O. Alhaj Hasan, D. Defer, I. Shahrour // *Energy and Buildings*, Elsevier Ltd. – 2014. – Vol. 82. – P. 322–329.
4. Energy Performance Optimisation of Building Envelope Retrofit through Integrated Orthogonal Arrays with Data Envelopment Analysis. Renewable / H. X. Li, Y. Li, B. Jiang [et al.] // *Energy*, Elsevier Ltd. – 2020. – Vol. 149. – P. 1414–1423.
5. EPBD. On the energy performance of buildings // *Official Journal of the European Union*. – 2010.
6. **Dixon, W.** The impacts of construction and the built environment / W. Dixon // *Briefing Notes*, Willmott-Dixon Group. – 2010.
7. Строительная теплотехника: СП 2.04.01–2020. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 63 с.

*Статья сдана в редакцию 25 октября 2024 года*

Контакты:

eeld9696@gmail.com (Шкильнюк Максим Александрович).

**M. A. SHKILNIUK**

#### INFLUENCE OF THE TECHNICAL CONDITION OF ENCLOSING STRUCTURES ON THEIR THERMOTECHNICAL CHARACTERISTICS

##### **Abstract**

Heat flow in enclosing structures with various technical condition has been studied and analyzed. The influence of the technical condition of the enclosing structures on their thermal characteristics has been revealed. The results of actual and theoretical values of thermal characteristics are given. The paper presents the main problems arising in the course of thermotechnical calculations.

##### **Keywords:**

cycloidal-lantern gear, parallel crank mechanism, contact strength, mechanism efficiency, computer modeling.

##### **For citation:**

Shkilniuk M. A. Influence of the technical condition of enclosing structures on their thermotechnical characteristics / M. A. Shkilniuk // *Belarusian-Russian University Bulletin*. – 2024. – № 4 (85). – P. 57–63.