

Международный открытый форум International open forum

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 628.89
doi 10.30987/2782-5957-2022-8-56-66

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСТАНОВКИ НАТЯЖНЫХ ПОТОЛКОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сергей Данилович Галюжин¹, Ольга Михайловна Лобикова²✉

^{1,2} Белорусско-Российский университет, г. Могилев, Республика Беларусь

¹ e-mail: serg.galujin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3957-344X>

² e-mail: olg.lobikova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3047-2944>

Аннотация

Цель исследования: анализ эффективности установки натяжных потолков в производственных зданиях предприятий транспортного машиностроения постройки 60-х...70-х годов прошлого столетия как одного из способов утепления здания. Задача, решению которой посвящена статья: разработка методики расчета тепловых потерь при установке натяжного потолка в производственном здании предприятия транспортного машиностроения, сравнительный анализ данных потерь до и после установки потолка. Методы исследования: в статье использован расчетно-теоретический метод исследований теплопередачи, при котором после прохождения натяжного потолка происходит разделение теплового потока на две неравные части, т.к.

термическое сопротивление стен и крыши различно. Новизна работы: предложен метод расчета тепловых потерь при установке натяжного потолка в производственном здании. Результаты исследования: установлено, что установка натяжного потолка позволяет не только улучшить эстетический вид производственного здания, но и снизить тепловые потери через верхнюю часть здания и крышу почти в 1,5 раза. Выводы: установка натяжных потолков с утеплителем в производственных зданиях предприятий транспортного машиностроения имеет тепло-техническую целесообразность поскольку при этом существенно снижаются тепловые потери.

Ключевые слова: транспортное машиностроение, здания, потолок, тепловые потери.

Ссылка для цитирования:

Галюжин С.Д. Эффективность установки натяжных потолков в производственных зданиях предприятий транспортного машиностроения / С.Д. Галюжин, О.М. Лобикова // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 8. – С. 56 – 66. doi: 10.30987/2782-5957-2022-8-56-66.

Original article
Open Access Article

EFFICIENCY OF INSTALLING STRETCH CEILINGS IN INDUSTRIAL BUILDINGS OF TRANSPORT ENGINEERING ENTERPRISES

Sergey Danilovich Galyuzhin¹, Olga Mikhailovna Lobikova²✉

^{1,2} Belarusian-Russian University, Mogilev, Republic of Belarus

¹ e-mail: serg.galujin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3957-344X>

² e-mail: olg.lobikova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3047-2944>

Abstract

The study objective is to analyze the efficiency of installing stretch ceilings in industrial buildings of transport engineering enterprises constructed in the 60s...70s of the previous century as one of the ways of building insulation. The problem to which the paper is

devoted is the development of a method for calculating heat losses during the installation of a stretch ceiling in a production building of a transport engineering enterprise, a comparative analysis of these losses before and after the ceiling installation. Research methods: the

paper uses a computational and theoretical method of heat transfer studies, in which, after passing the stretch ceiling, the heat flow is divided into two unequal parts, because the thermal resistance of the walls and roof is different. The novelty of the work: a method for calculating heat losses when installing a stretch ceiling in a production building is proposed. Study results: it is found that the installation of a stretch ceiling allows not only to improve the aesthetic appearance of an indus-

trial building, but also to reduce heat losses through the upper part of the building and the roof by almost 1.5 times. Conclusions: the installation of stretch ceilings with insulation in industrial buildings of transport engineering enterprises has a thermal feasibility, since at the same time heat losses are significantly reduced.

Keywords: transport engineering, buildings, ceiling, heat losses.

Reference for citing:

Galyuzhin SD, Lobikova OM. Efficiency of installing stretch ceilings in industrial buildings of transport engineering enterprises. Transport Engineering. 2022; 8:56 – 66. doi: 10.30987/2782-5957-2022-8-56-66.

Введение

При проектировании производственных зданий транспортного машиностроения, построенных по проектам 60-х...70-х годов прошлого столетия, из-за недостаточного понимания процессов теплообмена и дешевизны энергоресурсов был допущен ряд существенных просчетов [1-4]. Эти просчеты связаны с недостатками, имевшими место в нормативных документах тех лет [5]. В настоящее время поддержание в сооружениях машиностроительных предприятий необходимой температуры воздуха в соответствии с Гигиеническим нормативом [6] требует достаточно больших финансовых затрат на покупку тепловой энергии или энергоносителей при локальной системе отопления, что, в конечном итоге, отрицательно сказывается на экономической эффективности машиностроительного производства [7-9]. Большие потери тепла связаны со значительным теплообменом между воздухом помещения и воздухом окружающей среды (атмосферным воздухом). Для уменьшения потерь используются методы тепловой реновации зданий машиностроительных предприятий с последующим изменением их назначения [10, 11]. Однако повторное использование этих зданий без изменения назначения является более целесообразным [12-17]. Для снижения потерь тепла при этом в [18-24] предлагается проведение реконструкции всего покрытия здания, что является достаточно сложным технически и дорогостоящим решением. В качестве одного из решений проблемы избыточного теплообмена через горизонтальную ограждающую конструкцию покрытия производственного здания предла-

гается установка утепленного натяжного потолка (рис. 1). В [25-29] предлагаются конструкции подвесных и натяжных потолков для снижения звукопередачи (акустические потолки) и как способа огнезащиты горизонтальных конструкций перекрытия. При этом оценка эффективности применения таких решений для уменьшения теплопотерь не производится. Схемы таких решений, предлагаемых производителями (рис. 1), к сожалению, не отражают процессов теплообмена, которые происходят в действительности.

Как известно, теплообмен осуществляется тремя основными способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Перенос теплоты теплопроводностью происходит между соприкасающимися телами, которые имеют различную температуру. При нагревании тела его тепловая энергия, характеризуемая кинетической энергией движения (колебания) молекул, возрастает. При соприкосновении двух тел часть этой энергии передается молекулам менее нагретого тела и этот процесс распространяется по всему менее нагретому телу до тех пор, пока тепловая энергия обоих тел не уравнивается. В металлах при этом значительную роль играют свободные электроны.

Теплообмен путем конвекции происходит только в сплошных средах (газах и жидкостях). Сущность его состоит в том, что перенос теплоты осуществляется при перемещении в пространстве определенных объемов жидкости или газа. Конвекция в сплошных средах всегда неразрывно связана с теплопроводностью, т.к. при этом процессе происходит контакт частиц,

обладающих различной кинетической энергией. Такой комплексный процесс называется конвективным теплообменом.

Теплообмен излучением осуществляется за счет распространения электромагнитных волн (лучей) от нагретого тела.

Источником этих волн является внутренняя энергия данного тела. Основной вклад при данном виде теплопередачи вносят инфракрасные лучи с длиной волны 0,8...40 мкм.



Рис. 1. Предполагаемые потоки тепловой энергии в производственном здании до и после установки натяжного потолка

Fig. 1. Estimated heat energy flows in the industrial building before and after installation of the stretch ceiling

Перенос тепловой энергии от более нагретой сплошной подвижной среды к менее нагретой (холодной) через твердую стенку (однослойную или многослойную) является теплопередачей. Теплопередача –

это сложный термодинамический процесс, в котором тепловая энергия передается тремя упомянутыми способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением.

Результаты исследований

Рассмотрим процесс теплопередачи через однослойную стенку 1 в производственном здании постройки второй поло-

вины XX века (рис. 2), состоящий из трех этапов.

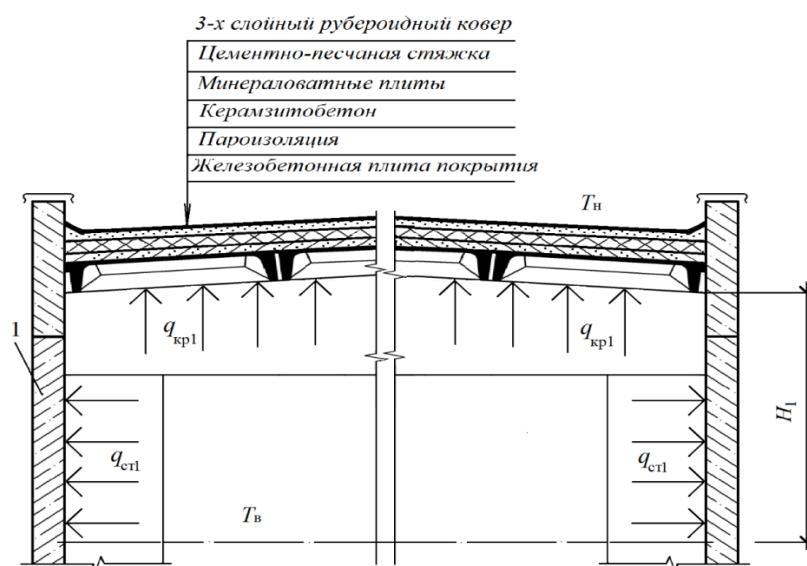


Рис. 2. Схема теплопередачи в производственном здании постройки второй половины XX века, H_1 – расстояние от плоскости установки натяжного потолка до плиты перекрытия

Fig. 2. Heat transfer scheme in an industrial building built in the second half of the 20th century, H_1 – distance from the installation plane of the stretch ceiling to the floor slab

Dimensions and thermophysical parameters of building elements

Наименование элемента здания	Средняя (расчетная) толщина δ , мм	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Термическое сопротивление элемента здания R , м ² ·К/Вт
Стена бетонная (керамзитобетон плотностью 800 кг/м ³)	400	0,209	1,51
Плита покрытия железобетонная	50	1,69	0,03
Пароизоляция оклеенная (один слой рубероида)	5	0,17	0,03
Керамзитобетон на керамзитовом песке	100	0,128	0,781
Минвата	100	0,0408	2,45
Стяжка цементно-песчаная	30	0,58	0,05
Рубероид (три слоя)	18	0,17	0,11
ПХВ-ткань	0,5	0,15	0,003
Тепофол	5	0,039	0,13
Воздушная прослойка при передаче тепла к крыше	6000		0,166
Воздушная прослойка при передаче тепла к стенам	6000		0,187

На первом этапе происходит перенос тепловой энергии конвекцией от нагретой среды к стенке. Второй этап – перенос энергии теплопроводностью через стенку. Третий этап представляет собой перенос тепла конвекцией от противоположной стенки к менее нагретой среде, т.е. атмосферному воздуху. Данный комплексный процесс через однослойную стенку здания описывается известным уравнением, составленным на основе теоремы Фурье и уравнения Ньютона – Рихмана:

$$q_c = \frac{A(T_B - T_H)}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_H}}, \quad (1)$$

где q_c – количества тепла (тепловой поток), проходящее через однослойную стенку в единицу времени, Вт; A – площадь поверхности стенки, м²; α_B – коэффициент теплоотдачи от нагретой среды к стенке, Вт/(м²·К). α_H – коэффициент теплоотдачи от нагретой стенки к холодной среде,

Вт/(м²·К); T_B и T_H – температура среды внутри здания (горячая среда) и температура снаружи здания (холодная среда), соответственно, К; δ_c – средняя толщина стенки, м; λ_c – теплопроводность стенки, Вт/(м·К).

Обозначения физических величин приняты с использованием СТБ ISO 6946:2022/OP и СП 2.04.01-2020 [30, 31].

В рассматриваемом типовом здании (длина – 36 м, ширина – 17 м, высота – 12 м) до установки подвесного потолка имеет место конвективный теплообмен внутри помещения и теплообмен теплопроводностью через стены и крышу. Значения теплопроводности стен, плит покрытия, пароизоляции, керамзитобетона, минеральной ваты, цементно-песчаной стяжки, рубероида и теплофола взяты из СП 2.04.01-2020 [31, с. 38-49], а ПХВ-ткани из [32] и сведены в табл. 1.

Процесс теплопередачи, описанный уравнением (1) имеет место при переносе

энергии через стены 1 рассматриваемого здания (рис. 1).

Сумма величин в знаменателе уравнения (1) называется *общим термическим сопротивлением стены* $R_{ст1}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$):

$$R_{ст1} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{н}}, \quad (2)$$

где $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи от нагретого воздуха внутри здания к бетонным стенам: $\alpha_{в}=8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [31, с.8]; $\alpha_{н}$ – коэффициент теплоотдачи от бетонных стен к наружному воздуху: $\alpha_{н}=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [31, с. 17]; $\lambda_{ст}$ – теплопроводность бетонной стены, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\delta_{ст}$ – толщина бетонной стены: $\delta_{ст}=0,4 \text{ м}$. Подставив соответствующие значения в (2) получим $R_{ст1}=1,67 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Тогда тепловой поток, проходящий через стены над плоскостью будущей установки натяжного потолка можно определить:

$$q_{ст1} = \frac{A_{ст}(T_{в} - T_{н})}{R_{ст1}}, \quad (3)$$

где $A_{ст}$ – площадь стен над плоскостью установки натяжного потолка: $A_{ст}= 636 \text{ м}^2$

В соответствии с [31, с. 4] установлено, что расчетные значения климатических параметров наружного воздуха необходимо выбирать в соответствии с СНБ 2.04.02 [33]. Для Могилева средняя температура наружного воздуха в отопительный период равна $-1,9 \text{ }^{\circ}\text{C} = 271,25 \text{ К}$, а продолжительность отопительного периода – 204 суток [33, с. 9]. В соответствии с [6] средняя температура в рассматриваемом цеху: $+16 \text{ }^{\circ}\text{C}=289,15 \text{ К}$. Тогда тепловой поток, проходящий через часть стен, находящихся над плоскостью установки натяжного потолка, и вычисленный по зависимости (3), будет $q_{ст}=6817 \text{ Вт}=6,82 \text{ кВт}$.

Тепловой поток $q_{кр1}$, проходящего через многослойную крышу данного здания, определяется с помощью уравнения:

$$q_{кр1} = \frac{A_{п}(T_{в} - T_{н})}{\frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1}^n (\delta_i/\lambda_i) + \frac{1}{\alpha_{н}}}, \quad (4)$$

где $A_{п}$ – площадь потолка: $A_{п}=612 \text{ м}^2$; δ_i – толщина i -го слоя крыши, м ; λ_i – теплопроводность i -го слоя крыши, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Тогда, общее термическое сопротивление крыши $R_{кр1}$ будет равно:

$$R_{кр1} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_{жб}}{\lambda_{жб}} + \frac{\delta_{пи}}{\lambda_{пи}} + \frac{\delta_{кб}}{\lambda_{кб}} + \frac{\delta_{мв}}{\lambda_{мв}} + \frac{\delta_{сж}}{\lambda_{сж}} + \frac{\delta_{рб}}{\lambda_{рб}} + \frac{1}{\alpha_{н}}. \quad (5)$$

где $\delta_{жб}$, $\delta_{пи}$, $\delta_{кб}$, $\delta_{мв}$, $\delta_{сж}$, $\delta_{рб}$ – толщины слоев: железобетонного покрытия, пароизоляции, керамзитобетона, минваты, стяжки и рубероида, соответственно, м ; $\lambda_{жб}$, $\lambda_{пи}$, $\lambda_{кб}$, $\lambda_{мв}$, $\lambda_{сж}$ и $\lambda_{рб}$ – теплопроводность: железобетонного покрытия, пароизоляции, керамзитобетона, минваты, стяжки и рубероида, соответственно, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Подставив соответствующие значения в (4) из табл. 1 получим $R_{п}=3,61 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, а тепловой поток, проходящий через крышу, будет равен $q_{кр}=3034,6 \text{ Вт}=3,04 \text{ кВт}$.

Окончательно, тепловой поток $q_{тп1}$ (мощность тепловых потерь), проходящий через стены над плоскостью будущей установки подвесного потолка и крышу можно определить:

$$q_{тп1} = q_{ст1} + q_{кр1} \quad (6)$$

Таким образом, тепловой поток (мощность потерь), проходящий через крышу и стены над плоскостью установки натяжного потолка равна $9,86 \text{ кВт}$. Кроме

того, тепловые потери через крышу в 2,24 раза меньше потерь через стены, находящиеся над плоскостью будущей установки натяжного потолка. Здесь рассмотрены тепловые потери через верхнюю стену. Если рассматривать все здание, то с учетом тепловых потерь через оконные проемы и двери общие потери через стены будут примерно в 6...7 раз выше потерь через крышу. Надо отметить, что такие производственные здания эксплуатируются до сих пор без существенного утепления.

Рассмотрим движение теплового потока $q_{тп2}$ через верхнюю часть здания при установке натяжного потолка 2 со слоем утеплителя 3 (рис. 3). На верхней поверхности утеплителя 8 происходит разделение теплового потока $q_{тп2}$ на два потока $q_{ст2}$ и $q_{кр2}$. При этом очевидно, что

$$q_{тп2} = q_{ст2} + q_{кр2}, \quad (7)$$

где $q_{ст2}$ – тепловой поток, уходящий наружу через стены, Вт ; $q_{кр2}$ – тепловой поток, уходящий наружу через крышу, Вт . В дан-

ном случае тепловой поток $q_{тп2}$ также равен:

$$q_{тп2} = \frac{A_{п} (T_{в} - T_{1})}{\frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_{нп}}{\lambda_{нп}} + \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} + \frac{1}{\alpha_{вп}}}, \quad (8)$$

где $A_{п}$ – площадь натяжного потолка, м²; $\delta_{нп}$ и $\delta_{ут}$ – толщины натяжного потолка и

утеплителя, соответственно, м; $\lambda_{нп}$ и $\lambda_{ут}$ – теплопроводности натяжного потолка и утеплителя, соответственно, Вт/(м·К); T_{1} – температура воздуха в воздушной прослойке между натяжным потолком и ребристой плитой, К; $\alpha_{вп}$ – коэффициент теплоотдачи от теплофола к воздуху воздушной прослойки: $\alpha_{вп}=6$ Вт/(м²·К) [31, с.17].

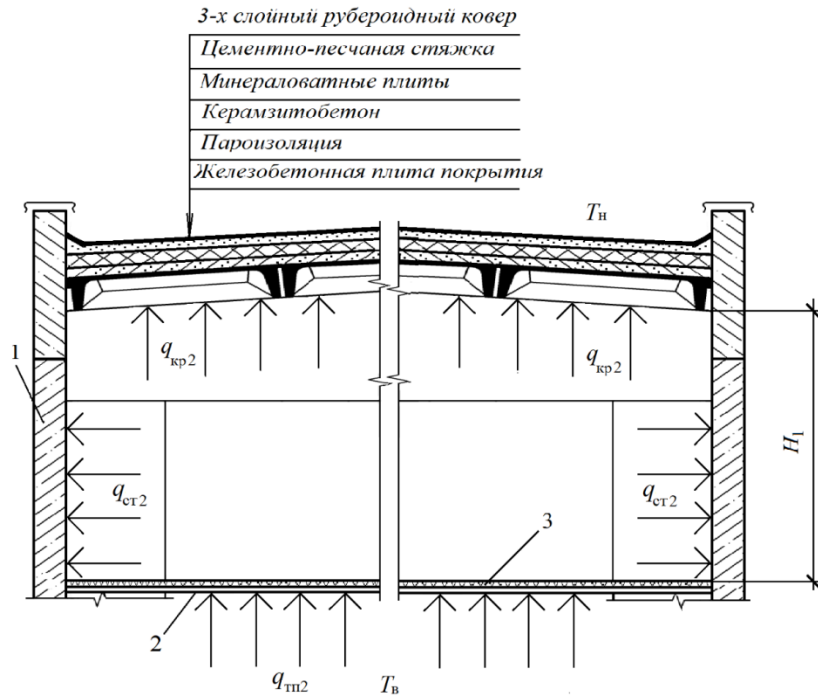


Рис. 3. Схема теплопередачи в производственном здании, изображенном на рис. 1, при установке подвесного потолка: 1 – стены; 2 – ПВХ-ткань; 3 – утеплитель (тепофол); H_1 – расстояние от плоскости установки натяжного потолка до плиты перекрытия: $H_1=6$ м

Fig. 3. The scheme of heat transfers in the industrial building shown in fig. 1, when installing a false ceiling: 1 – walls; 2 – PVC cloth; 3 – insulation (tepofof); H_1 – distance from the installation plane of the stretch ceiling to the floor slab: $H_1 = 6$ m

Обозначим $a = \frac{A_{п}}{\frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_{нп}}{\lambda_{нп}} + \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} + \frac{1}{\alpha_{вп}}}$, тогда

$$q_{тп2} = a (T_{в} - T_{1}). \quad (9)$$

С физической точки зрения a – тепловой поток, приходящийся на градиент температуры в 1 К. Аналогично определим $q_{ст2}$ и $q_{кр2}$:

$$q_{ст2} = \frac{A_{ст} (T_{1} - T_{н})}{\frac{1}{\alpha_{вп.ст}} + R_{вп.ст} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{н}}}, \quad (10)$$

где $R_{вп.ст}$ – термическое сопротивление невентилируемой воздушной прослойки при движении теплового потока $q_{ст2}$, м²·К/Вт; $\alpha_{вп.ст}$ – коэффициент теплоотдачи от воздушной прослойки к стене: $\alpha_{вп.ст}=8,7$ Вт/(м²·К) [31, с.8];

В [31, с.70] приведены значения термических сопротивлений невентилируемой

воздушной прослойки $R_{вп}$ в зависимости от ее толщины, направления движения потока тепла и знака температуры воздуха по °С в прослойке, когда толщина данной прослойки не превышает 0,3 м. В рассматриваемом случае толщина невентилируемой воздушной прослойки составляет 6 м, длина 36 м и ширина 17 м. В соответствии с [30, с. 20] понятие «воздушная прослойка» подразумевает те воздушные прослойки, которые имеют ширину и длину в 10 раз больше толщины, измеренной в направлении теплового потока, либо воздушные пустоты, которые имеют ширину или длину, сопоставимую с их толщиной. Если толщина воздушной прослойки изменяется, то для вычисления необходимо исполь-

зовать ее среднее значение термического сопротивления. В данном случае толщина воздушной прослойки является постоянной и ее толщина сопоставима с шириной и длиной, поэтому для расчета термического сопротивления невентилируемой воздушной прослойки $R_{вп}$ воспользуемся зависимостью из СТБ ISO 6946:2022/OP и ISO 6946:2017 [30, с. 18; 34]:

$$R_{вп} = \frac{1}{h_c + h_r}, \quad (11)$$

где h_c – конвективная составляющая теплопередачи, Вт/(м²·К); h_r – излучательная составляющая теплопередачи, Вт/(м²·К).

На основе упрощенных расчетов принимаем, что разность температур в воздушной прослойке будет ≤ 5 К [30]. Тогда при горизонтальном направлении теплового потока $h_c=1,25$ Вт/(м²·К), а при вертикальном вверх – $h_c=1,95$ Вт/(м²·К) [30, с. 18; 34]:

Излучательная составляющая теплопередачи h_r определяется следующим образом:

$$h_r = E h_{r0}, \quad (12)$$

где E – взаимная излучательная способность поверхностей (приведенный коэффициент излучения поверхности); h_{r0} – коэффициент теплоотдачи излучением поверхности абсолютно черного тела, Вт/(м²·К).

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \quad (13)$$

Где ε_1 и ε_2 – полусферические относительные коэффициенты излучения поверхно-

стей, ограничивающих воздушную прослойку.

В отопительный период средняя температура в воздушной прослойке будет примерно около $T_{вп.ср} \approx 10$ °С = 283,15 К. Поэтому $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$ [30, с. 21; 34]. Тогда вычисленное значение по зависимости (13) $E=0,817$.

Коэффициент теплоотдачи излучением поверхности абсолютно черного тела h_{r0} вычисляется следующим образом [30, с. 18; 34]:

$$h_{r0} = 4\sigma T_m, \quad (14)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴); T_m – средняя термодинамическая температура поверхности и окружающей среды, К. Очевидно, что $T_m = T_{вп.ср}$. Подставив соответствующие значения $T_{вп.ср}=283,15$ К и $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) в (12) получим $h_r=4,077$ Вт/(м²·К).

Тогда величина термического сопротивления невентилируемой воздушной прослойки, вычисленного с помощью зависимости (11) при передаче тепла к крыше будет равна $R_{вп.кр}=0,166$ м²·К/Вт, а при передаче к стенам $R_{вп.ст}=0,187$ м²·К/Вт. Занесем эти величины в табл. 1.

Обозначим

$$a_1 = \frac{A_{ст}}{\frac{1}{\alpha_{вп.ст}} + R_{вп.ст} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_n}}, \quad (15)$$

и получим:

$$q_{ст2} = a_1 (T_1 - T_n). \quad (16)$$

Окончательно тепловой поток $q_{кр2}$ будет равен:

$$q_{кр2} = \frac{A_n (T_1 - T_n)}{\frac{1}{\alpha_{вп.кр}} + R_{вп.кр} + \frac{\delta_{жб}}{\lambda_{жб}} + \frac{\delta_{кб}}{\lambda_{кб}} + \frac{\delta_{мв}}{\lambda_{мв}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{\delta_{рб}}{\lambda_{рб}} + \frac{1}{\alpha_n}}, \quad (15)$$

где $\alpha_{вп.кр}$ – коэффициент теплоотдачи от воздушной прослойки к крыше: $\alpha_{вп.кр}=8,7$ Вт/(м²·К) [31, с. 8].

Обозначим $a_2 = \frac{A_n}{\frac{1}{\alpha_{вп.кр}} + R_{вп.кр} + \frac{\delta_{жб}}{\lambda_{жб}} + \frac{\delta_{кб}}{\lambda_{кб}} + \frac{\delta_{мв}}{\lambda_{мв}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{\delta_{рб}}{\lambda_{рб}} + \frac{1}{\alpha_n}}$ и получим

$$q_{кр2} = a_2 (T_1 - T_n). \quad (17)$$

Подставим зависимости (9), (16) и (17) в (7):

$$a(T_n - T_1) = a_1 (T_1 - T_n) + a_2 (T_1 - T_n). \quad (18)$$

Для расчета мощности теплового потока q необходимо знать температуру T_1 на верхней поверхности утеплителя 3 (см.

рис. 3). С этой целью решим уравнение (18) относительно T_1 :

$$T_1 = \frac{a T_n + (a_1 + a_2) T_n}{a + a_1 + a_2} \quad (19)$$

Тогда

$$q_{\text{тп}2} = a \left(T_{\text{в}} - \frac{a T_{\text{в}} + (a_1 + a_2) T_{\text{н}}}{a + a_1 + a_2} \right). \quad (20)$$

Расчеты показали, что $a=1474,7$ Вт/К, $a_1=342,7$ Вт/К $a_2=161,9$ Вт/К. Окончательно получено: $q_{\text{тп}2}=6724,6$ Вт= 6,72 кВт, т.е. потери тепла через верхнюю часть стен (от плоскости установки натяжного потолка до плиты покрытия) и крышу при установке натяжного потолка с утеплителем уменьшаются в 1,47 раза.

$$q_{\text{тп.бу}2} = a_{\text{бу}} \left(T_{\text{в}} - \frac{a_{\text{бу}} T_{\text{в}} + (a_1 + a_2) T_{\text{н}}}{a_{\text{бу}} + a_1 + a_2} \right). \quad (21)$$

Подставим соответствующие значения и получим: $q_{\text{тп.бу}2}=73222$ Вт=7,3 кВт, т.е. потери через верхнюю часть стен, крышу и натяжной потолок без утеплителя увеличиваются примерно в 1,1 раза по сравнению с тем, когда подвесной потолок снабжен утеплителем.

Как отмечалось выше, отопительный период составляет 204 суток. При двухсменной работе это 3264 часа или 11750400 с. Для расчета потерь энергии $Q_{\text{пот}}$ используем известную зависимость:

$$Q_{\text{пот}} = q_{\text{пот}} \tau, \quad (22)$$

Заключение

Одним из достаточно эффективных способов снижения тепловых потерь в отопительный период в производственных зданиях предприятий транспортного машиностроения постройки 60-х...70-х годов прошлого столетия является установка натяжного потолка со слоем утеплителя.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шеин В.В. Анализ состояния промышленных объектов советского периода на территории Южного федерального округа. Инженерный вестник Дона. 2018;2(49):205.
2. Shchur A., Lobikava N., Lobikava V. Revitalization of (post-) soviet neighbourhood with nature-based solutions. Acta horticulturae et regiotecturae. 2020;23(2):76-80.
3. Ляшук Д.А. Обобщение мирового опыта и классификация методов реконструкции массовой микрорайонной жилой застройки. Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2017;1(103):32-36.

Рассмотрим случай, когда отсутствует слой утеплителя на натяжном потолке. Очевидно, что при этом изменится только величина a , которую обозначим $a_{\text{бу}}$:

$$a_{\text{бу}} = \frac{A_{\text{п}}}{\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{нп}}}{\lambda_{\text{нп}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{вп}}}} \quad (21)$$

Подставим соответствующие значения величин в (21) и получим $a_{\text{бу}}=2147,4$ Вт.

Уравнение для расчета тепловой мощности потока в этом случае примет вид:

$$q_{\text{тп.бу}2} = a_{\text{бу}} \left(T_{\text{в}} - \frac{a_{\text{бу}} T_{\text{в}} + (a_1 + a_2) T_{\text{н}}}{a_{\text{бу}} + a_1 + a_2} \right). \quad (21)$$

где τ – время прохождения теплового потока, с.

Вычислим количество энергии, которое теряется за отопительный период через упомянутую верхнюю часть стен и крышу:

- 1) без установки натяжного потолка – $115,86 \cdot 10^6$ кДж;
- 2) при установке натяжного потолка без утеплителя – $86,1 \cdot 10^6$ кДж;
- 3) при установке натяжного потолка с утеплителем – $44,42 \cdot 10^6$ кДж.

Зная стоимость 1 кДж тепловой энергии несложно подсчитать экономию денежных средств.

При этом потери тепла через верхнюю часть стен (от плоскости установки подвесного потолка до плиты покрытия) и крышу уменьшаются почти в 1,5 раза, что в основном связано с образованием неветилируемой воздушной прослойки в верхней части здания.

4. Олейник П.П., Бродский В.И. Организация предпроектного обследования технического состояния реконструируемых производственных зданий и сооружений. Системные технологии. 2019;3(32)5-7.
5. Горшков А. С., Ливчак В. И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015;3:7-37.
6. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы: утв. Пост. Мин-ва здравоохранения РБ от 11 октября 2017 г. №92. – URL: Adobe Ac-

- robot Reader. URL: <http://www.ohranatruda.by/topic/5546> (дата обращения: 10.01.2022).
7. Медведев А.А. Обоснование технических решений фасадов реконструируемых промышленных зданий из условий энергосбережения и безопасности. *Строительство: наука и образование*. 2021;11(3):98-119.
 8. Левченко В.Н., Невгень Н.А., Храмогин А.А. Архитектурно-строительная реконструкция и ее влияние на интенсификацию эксплуатируемых производственных зданий. *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2017;2(124):10-15.
 9. Tukhtamisheva A., Adilova D., Issabayev G., Abildabekova D., Iisova A. Renovation of industrial buildings by increasing energy efficiency. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2020;12(S3):785-791. doi: 10.5373/JARDCS/V12SP3/20201318 ISSN 1943-023X.
 10. Фильковейте К.И., Хрусталева Т.В. Реконструкция промышленных зданий и сооружений в апартаменты. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2020;5-1(61):227-235.
 11. Климовская Д.В., Игнатьева А.С., Полинцева Т.А., Пузынин М.Ю., Банщиков С.Д., Гуськов Д.А. Особенности и анализ реконструкции производственных предприятий под жилые здания. *E-Scio*. 2020;9(48):476-483.
 12. Kurbanov F., Tyll L. Factors affecting the efficiency of energy - saving projects in market conditions. *Bulletin of Karaganda University. Economy Series*. 2019;95(3):150-156.
 13. Lapidus A., Topchiy D. Formation of Methods for Assessing the Effectiveness of Industrial Areas' Renovation Projects. *Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;471:1-6.
 14. Дудникова К.А. Предпосылки и целесообразность использования бывших производственных зданий. *Architecture and Modern Information Technologies AMIT*. 2017;2(39):114-125.
 15. Галюжин С.Д., Лобикова Н.В., Лобикова О.М., Галюжин А.С. Методика определения объема конденсата, образующегося при прохождении удаляемого воздуха через рекуператор вентиляционной установки. *Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. 2019;2(115):97-100.
 16. Сормунен П. Энергоэффективность зданий. Ситуация в Финляндии. *Инженерно-строительный журнал*. 2010;1:7-8.
 17. Ливчак В.И. Предложения по установлению долгосрочной динамики повышения требований к энергоэффективности зданий. *Сантехника, Отопление, Кондиционирование*. 2020;12(228):58-67.
 18. Fantucci, S., Serra, V., Investigating the Performance of Reflective Insulation and Low Emissivity Paints for the Energy Retrofit of Roof Attics. *Energy and Buildings*. 2019;182:300-310.
 19. Леонова А.Н., Курочка М.В. Методы повышения энергоэффективности зданий при реконструкции. *Вестник Московского государственного строительного университета*. 2018;13(7(118)):805-813. doi: 10.22227/1997-0935.2018.7.805-813 Т 4.
 20. Тарасенко В.Н., Слободянский М.А. Энергосберегающие технологии в проектировании и строительстве. *Вектор ГеоНаук*. 2020;3(4):21-27. doi: 10.24411/2619-0761-2020- 10039.
 21. Роженцова Н.В., Биктимиров З.М., Галаятдинова А.Р. Оптимизация свойств теплозащиты кровли. *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2018;5-1(37):115-118.
 22. Шабанов Д.Н., Брянцев Е.Г., Ягубкин А.Н., Крупенчик И.В., Змитрович С.Ю. Теплоизоляционные материалы и их конвективные свойства. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки*. 2019;8: 44-48.
 23. Риставлетов Р.А., Сулейменов У.С., Камбаров М.А., Абшенов Х.А., Кудабаев Р.Б., Суендыкова К.Б. Определение сопротивления теплопередаче многослойной ограждающей конструкции с теплоотражающим слоем. *Научный аспект*. 2018;2(3):200-208.
 24. Марченко А.В., Кармазин Г.И. Особенности монтажа строительных конструкций при реконструкции кровли корпуса завода «АТОММАШ». *Междисциплинарность науки как фактор инновационного развития: сб. статей Международной научно-практической конференции. Таганрог, 09 ноября 2019. С. 184-188*.
 25. Герасимов А.И., Салтыков И.П. К вопросу применения акустических подвесных потолков с малой высотой крепления. *Инженерный вестник Дона*. 2021;5(77):528-545.
 26. Gravit M.V., Golub E.V., Grigoriev D.M., Ivanov I.O. Fireproof suspended ceilings with high fire resistance limits. *Magazine of Civil Engineering*. 2018;8(84):75-85.
 27. Шубин И.Л., Аистов В.А., Пороженко М.А. Звукоизоляция ограждающих конструкций в многоэтажных зданиях. требования и методы обеспечения. *Строительные материалы*. 2019;3:33-43.
 28. Васильева И.Л., Назмеева Т.В. Оценка внутренней акустической среды уникального здания. *Вестник евразийской науки*. 2018;10(5):57.
 29. Синегубов И.Д. Создание эффективных технических средств шумозащиты. *Научно-исследовательский центр «Technical Innovations»*. 2021;8:217-220.
 30. СТБ ISO 6946:2022/OP. Конструкции ограждающие строительные и их элементы. Термическое сопротивление и сопротивление теплопередаче и методики расчета.
 31. СП 2.04.01-2020. Строительные правила. Строительная теплотехника. Утверждены и введены в действие постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 18 ноября 2020 г. № 93.

32. Полная таблица теплопроводности различных строительных материалов. [Электронный ресурс]. URL: <https://termoizol.com/polnaya-tablitsa-teploprovodnosti-razlichnyh-stroitelnyh-materialov.html>. - Дата доступа: 30.01.2022.
33. СНБ 2.04.02 – 2000. Строительная климатология. Утверждены приказом Министерства архи-

тектуры и строительства Республики Беларусь от 07 декабря 200 г. № 563.

34. ISO 6946:2017. Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation methods.

REFERENCES

1. Shein VV. Analysis of the state of industrial facilities of the Soviet period on the territory of the Southern Federal District. *Engineering Journal of Don*. 2018;2(49):205.
2. Shchur A, Lobikava N, Lobikava V. Revitalization of (post-) soviet neighbourhood with nature-based solutions. *Acta horticulturae et regiotecturae*. 2020;23(2):76-80.
3. Lyashuk DA. Generalization of world experience and classification of methods to reconstruct mass residential development. *Vestnik of Brest State Technical University. Construction and Architecture*. 2017; 1(103):32-36.
4. Oleinik PP, Brodsky VI. Organization of pre-project inspection of the technical condition of reconstructed industrial buildings and structures. *Sistemnie Technologii*. 2019;3(32)5-7.
5. Gorshkov AS, Livchak VI. History, evolution and development of regulatory requirements for enclosing structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015;3:7-37.
6. Maximum permissible concentrations of harmful substances in the air of the working area. Hygienic standards [Internet]. [place unknown]: Decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus No. 92; 2017 [cited 2022 Jan 10]. Available from: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.ohranatruda.by/topic/5546>
7. Medvedev AA. Justification of technical solutions for facades of reconstructed industrial buildings related to the conditions of energy conservation and safety. *Construction: Science and Education*. 2021;11(3):98-119.
8. Levchenko VN, Nevgen NA, Khramogin AA. Architectural and construction reconstruction and its impact on the intensification of operational industrial buildings. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2017;2(124):10-15.
9. Tukhtamisheva A, Adilova D, Isabaev G, Abildabekova D, Iisova A. Renovation of industrial buildings by increasing energy efficiency. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2020;12(S3):785-791. doi: 10.5373/JARDCS/V12SP3/20201318 ISSN 1943-023X.
10. Filkoveite KI., Khrustaleva TV. Reconstruction of industrial buildings and structures into apartments. *Aktualnii Nauchnie Issledovaniya v Sovremennom Mire*. 2020;5-1(61):227-235.
11. Klimovskaya DV, Ignatieva AS, Polyntseva TA, Puzynin MYu, Banshchikov SD, Guskov DA. Features and analysis of reconstruction of industrial enterprises for residential buildings. *E-Scio*. 2020;9(48):476-483.
12. Kurbanov F, Till L. Factors affecting the efficiency of energy - saving projects in market conditions. *Bulletin of Karaganda University. Economy Series*. 2019;95(3):150-156.
13. Lapidus A, Topchiy D. Formation of methods for evaluating the effectiveness of industrial renovation projects. *Proceedings of the IOP Conference series: Materials Science and Engineering*. 2019;471:1-6.
14. Dudnikova K.A. Formation of Methods for Assessing the Effectiveness of Industrial Areas' Renovation Projects. *Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017;2(39):114-125.
15. Galyuzhin SD, Lobikova NV, Lobikova OM, Galyuzhin AS. Methods of finding the volume of condensate formed when the removed air passes through the recuperator of the ventilation unit. *Vestnik of Brest State Technical University. Water Management Construction, Thermal Power Engineering and Geocology*. 2019;2(115):97-100.
16. Sormunen P. Energy efficiency of buildings. The situation in Finland. *Magazine of Civil Engineering*. 2010;1:7-8.
17. Livchak VI. Proposals for establishing long-term dynamics of increasing requirements for energy efficiency of buildings. *Plumbing, Heating, Air Conditioning*. 2020;12(228):58-67.
18. Fantucci S, Serra V. Investigating the Performance of Reflective Insulation and Low Emissivity Paints for the Energy Retrofit of Roof Attics. *Energy and Buildings*. 2019;182:300-310.
19. Leonova AN, Kurochka MV. Methods of increasing energy efficiency of buildings during reconstruction. *Vestnik MGSU*. 2018;13(7(118)):805-813. Dpi: 10.22227/1997-0935.2018.7.805-813 T 4.
20. Tarasenko VN, Slobodyansky MA. Energy-saving technologies in design and construction. *Vector GeoNauk*. 2020;3(4):21-27. Doi: 10.24411/2619-0761-2020- 10039
21. Rozhentsova NV, Biktimirov ZM, Galyautdinova AR. Optimization of the properties of roof thermal protection. *Aktualnii Nauchnie Issledovaniya v Sovremennom Mire*. 2018;5-1(37):115-118.
22. Shabanov DN, Bryantsev EG, Yagubkin AN, Krupenchik IV, Zmitrovich SYu. Thermal insulation materials and their convective properties. *Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences*. 2019;8: 44-48.

23. Ristavletov RA, Suleimenov US, Kambarov MA, Abshenov HA, Kudabaev RB, Suendykova KB. Determination of heat transfer resistance of a multi-layer enclosing structure with a heat-reflecting layer. *Nauchniy Aspect*. 2018;2(3):200-208.
24. Marchenko AV, Karmazin GI. Features of installing structures during the reconstruction of the building roof of ATOMMASH plant. Collection of papers of the international scientific and practical conference: Interdisciplinarity of sScience as a Factor of Innovative Development; 2019 Nov 09; Taganrog: 2019. p. 184-188.
25. Gerasimov AI, Saltykov IP. On the problem of using acoustic suspended ceilings with a low mounting height. *Engineering Journal of Don*. 2021;5(77):528-545.
26. Gravit MV, Golub EV, Grigoriev DM, Ivanov IO. Fireproof suspended ceilings with high fire resistance limits. *Magazine of Civil Engineering*. 2018;8(84):75-85.
27. Shubin IL, Aistov VA, Porozhenko MA. Sound insulation of enclosing structures in multi-storey buildings: requirements and methods to implement. *Stroitel'nye Materialy*. 2019;3:33-43.
28. Vasilyeva IL, Nazmeeva TV. Evaluation of the internal acoustic environment of a unique building. *The Eurasian Scientific Journal*. 2018;10(5):57.
29. Sinegubov ID. Creation of effective technical means of noise protection. *Scientific Research Center "Technical Innovations"*. 2021;8:217-220.
30. STB ISO 6946:2022/OR. Enclosing construction structures and their elements. Thermal resistance and heat transfer resistance and calculation methods.
31. SP 2.04.01-2020. Construction Rules. Construction heat engineering. [place unknown]: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus; 2020 Nov 18.
32. Total table of thermal conductivity of various building materials. [Internet]. [cited 2022 Jan 30]. Available from: <https://termoizol.com/polnaya-tablitsa-teploprovodnosti-razlichnyh-stroitelnykh-materialov.html>.
33. SNB 2.04.02 – 2000. Construction Climatology. [place unknown]: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus
34. ISO 6946:2017 Building components and building elements. Thermal resistance and heat transmission. Calculation methods.

Информация об авторах:

Галюзин Сергей Данилович – кандидат технических наук, доцент, тел. +375 (29) 740 39 48, доцент кафедры «Техносферная безопасность и промышленный дизайн» Межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет», действительный член Белорусской инженерной академии, ORCID: 0000-0003-3957-344X; Author-ID-РИНЦ: 797228.

Galyuzhin Sergey Danilovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety at Inter-State Educational Institution of Higher Education “Belarusian-Russian University”, member of Belarusian Engineering Academy, ORCID: 0000-0003-3957-344X; Author-ID- RSCI: 797228, phone: +375 (29) 740 39 48.

Лобикова Ольга Михайловна – тел. +375 (33) 628 83 73, старший преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет»; ORCID: 0000-0002-3047-2944; SPIN-код-РИНЦ: 8600-1253; Author-ID-РИНЦ: 867832.

Lobikova Olga Mikhailovna, Senior Lecturer of the Department of Industrial and Civil Engineering at Inter-State Educational Institution of Higher Education “Belarusian-Russian University”, ORCID: 0000-0002-3047-2944; SPIN-код-РИНЦ: 8600-1253; Author-ID-РИНЦ: 867832, phone: +375 (33) 628 83 73.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 06.04.2022.
The article was submitted to the editorial office on 06.04.2022.