

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №2, Том 12 / 2020, No 2, Vol 12 <https://esj.today/issue-2-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/57SAVN220.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Егерева Э.Н., Юхано Д.Д. Оптимизация массы административно-складского здания с учетом применения современных теплоизоляционных материалов // Вестник Евразийской науки, 2020 №2, <https://esj.today/PDF/57SAVN220.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Egereva E.N., Yukhano D.D. (2020). Weight optimization of an administrative-warehouse building using modern heat-insulating materials. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(12). Available at: <https://esj.today/PDF/57SAVN220.pdf> (in Russian)

УДК 699.865

ГРНТИ 67.01.05

Егерева Эльвира Николаевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Москва, Россия
Преподаватель
Доцент кафедры «Строительной и теоретической механики»
Кандидат физико-математических наук
E-mail: EgereveEN@mail.ru

Юхано Давид Даниилович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Москва, Россия
Студент 3-го курса
E-mail: d.78350@gmail.com

Оптимизация массы

административно-складского здания с учетом применения современных теплоизоляционных материалов

Аннотация. Современные инновационные теплоизоляционные материалы имеют ряд преимуществ, таких как незначительный вес, сохранение теплоизоляционных свойств во влажных условиях, высокий класс пожарной безопасности. Теплоизоляционные материалы применяются для строительства как новых зданий, так и для модернизации уже существующих строений и конструкций. В статье было проанализировано расчетно-конструктивное решение для типичного административно-складского здания в промышленном строительстве г. Москва и приведено обоснование выбора его теплоизоляционных материалов, строительных систем и конструктивных решений.

Целью данной работы является поиск наиболее эффективных средств теплоизоляции зданий и сооружений, для снижения массы их каркасных конструкций, повышение технологичности строительства, улучшение температурно-влажностного режима помещений, а также для предотвращения негативных воздействий на здания и сооружения, возникающие вследствие деградации существующей теплоизоляции, недостаточного ее качества, технологичности и других факторов.

В расчетно-конструктивном решении при строительстве административно-складского здания проанализированы следующие виды нагрузок: постоянные, которые включают в себя вес кровли и металлических конструкций, сэндвич-панелей, временные длительные,

учитывающие вес оборудования, мебели, а также временные кратковременные нагрузки, включающие снеговые и ветровые нагрузки.

Для обоснования преимуществ одних теплоизоляционных материалов перед другими была вычислена масса основного несущего каркаса административно-складского здания с учетом несущих конструкций – колонн, стропильных ферм, стоек фахверка, балок и плит перекрытий с использованием методов аппроксимации. При помощи аналитических методов расчета наглядно продемонстрировано снижение общей массы здания за счет применения более технологичных теплоизоляционных материалов.

Показано значительное преимущество использования при проектировании административно-складского здания в г. Москва наиболее эффективных теплоизоляционных материалов, таких как пенополистирол (PUR) и вакуумные панели (VIP), облегчающих массу проектируемой конструкции на 18–19 %.

Ключевые слова: теплоизоляция; теплоизоляционные материалы; промышленное строительство; тепловое сопротивление; административно-складское здание; оптимизация веса; модернизация зданий; эффективное энергопотребление

Введение

Основное назначение теплоизоляции – это снижение теплотерь сооружений, в том числе и административно-складских зданий, а также защита ограждающих конструкций от перепадов температур. Некоторые виды теплоизоляционных материалов имеют хорошие шумопоглощающие свойства, поэтому используются как звукоизоляционные материалы. Использование теплоизоляционных материалов позволяет снизить расход материалов ограждающих конструкций, а в процессе эксплуатации готового административно складского здания – на обогрев. Так, например, в работе [1] исследовано энергопотребление и определена оптимальная толщина изоляции стен и крыш при проектировании административных зданий в нескольких климатических регионах. Авторы статей [2; 3] при проектировании одноэтажного складского здания в холодном климате исследовали вакуумные VIP панели с высокими теплоизоляционными характеристиками и доказали значительное снижение годового потребления энергии с их использованием.

Изучено влияние различных теплопроводных материалов, например, анкеров на тепловые характеристики ограждающих конструкций зданий. Так, в статье [4] показано, что для достижения низкого энергопотребления промышленного здания необходимо учитывать влияния анкеров и прочих «мостиков холода» на теплопроводность конструкции. Авторами [5; 6] были сделаны подробные обзоры наиболее распространенных, а также самых передовых строительных теплоизоляционных материалов, рассмотрены их характеристики, включая стоимость, экологичность, а также проиллюстрированы некоторые решения для повышения энергетической и экологической эффективности новых и существующих административно-складских зданий в соответствии с условиями их эксплуатации и применения.

Большое количество отказов зданий и сооружений при их эксплуатации происходит по причине выхода из строя теплоизоляции. К причинам отказа относятся:

- применение неэффективных или устаревших теплоизоляционных материалов;
- деградация теплоизоляционных свойств или окончание их срока службы;
- несоблюдение технологии монтажа и эксплуатации.

Недостаточно эффективная теплоизоляция приводит к перерасходу энергии на отопление и охлаждение зданий, и, как следствие, повышенным выбросам парниковых газов,

ускоренному износу конструкций, нарушению температурно-влажностного режима помещений и даже может быть опасна при недостаточной степени ее пожарной безопасности.

Основная часть

Проведем анализ материала на примере типового промышленного административно-складского здания в г. Москва прямоугольной формы (рис. 1).

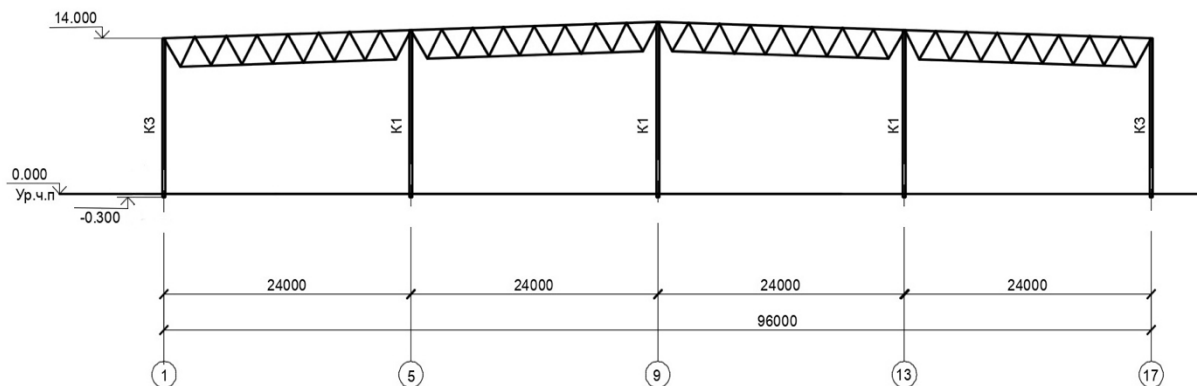


Рисунок 1. Поперечный разрез по каркасу административно-складского здания (составлено автором)

Высота до верха парапета корпуса относительно отметки 0,000 переменная – от 15,000 до 16,450 м. Высота до низа ферм от 12,040 до 13,400 м.

Площадь ограждающей поверхности, при которой суммарная площадь внешних стен, дверей и окон не учитываются, $A = 6\,120\text{ м}^2$. Каркас административно-складского здания в г. Москва запроектирован из металлоконструкций. В проекте приняты следующие типы сечений для каркаса из легких металлоконструкций:

- колонны и стойки фахверка из сварных двутавров переменной длины.

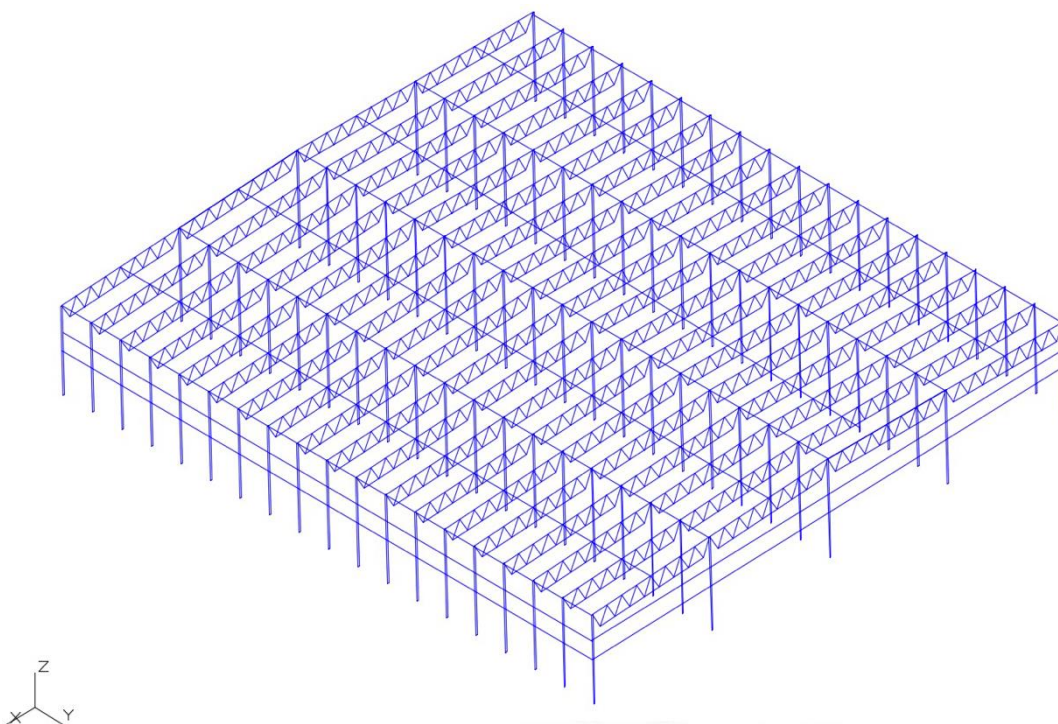


Рисунок 2. Пространственный чертеж каркаса здания (составлено автором)

Общая масса колонн и стоек составляет 33 894 кг.

- При этом стропильные фермы пролетами 24 м изготавливаются из гнутых сварных профилей. Таким образом, общая масса стропильной фермы будет составлять 49 332,5 кг.
- Подстропильные фермы, входящие в конструкцию, пролетами 12 м проектируются из гнутых сварных профилей и из уголков стальных горячекатаных равнополочных, общая масса которой составляет 19 797,6 кг.
- Рассматривается кровля. При площади покрытия 10 368 м² масса составляет 41 472 кг.

Таким образом, общая масса здания без учета веса ограждающей конструкции принимается равной 144 500 кг.

Рассматриваются следующие виды теплоизоляционных материалов.

1. Минеральная вата.
2. Пенополистирол PUR (PUR = polystyrene).
3. Пенополиизоцианурат PIR (PIR = polyisocyanurate)
4. Вакуумные панели VIP (VIP = vacuum insulating panels).

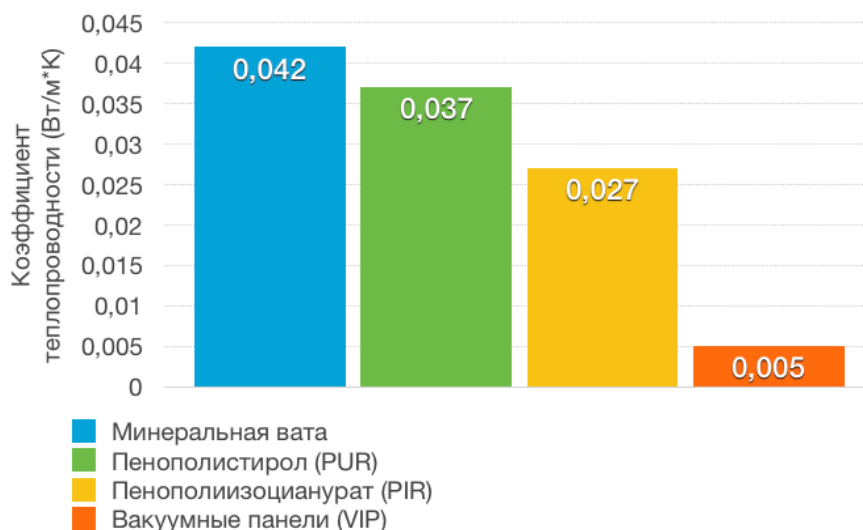


Рисунок 3. Коэффициенты теплопроводности теплоизоляционных материалов (составлено автором)

Применение достаточно эффективного теплоизоляционного материала пенополистирола может быть ограничено, вследствие его низкого уровня пожарной безопасности. Однако, авторами статьи [6] было предложено решение данной проблемы. А именно, огнезащитная пропитка на основе карбаматов крахмала амония-фосфата, которая была синтезирована с целью повышения класса пожарной безопасности материала. Было достигнуто снижение значения индекса доступа кислорода с 35,2 % до 17,6 %, а также снижения в два раза интенсивности теплового выделения и снижения в 5 раз дымообразующей способности. Таким образом, главный недостаток пенополистирола может быть решен, так как класс пожарной опасности снижается до КМ1.

Данное проведенное исследование и достигнутые результаты чрезвычайно важны для строительной отрасли, так как применение этого материала очень эффективно при относительно невысокой стоимости проектируемой конструкции.

Таблица 1

Таблица классификации материалов по классу горючести и пожарной опасности

Материал	Класс горючести	Класс пожарной опасности
Минеральная вата	НГ	КМ0
Пенополистирол (PUR)	ГЗ	КМ4
Пенополиизоцианурат (PIR)	Г1	КМ1
Вакуумные панели (VIP)	Г1	КМ1

Расчёт толщины утеплителя.

С целью доказать преимущество одних теплоизоляционных материалов перед другими далее в этом разделе будет задана и проанализирована конструкция наружной стены. Рассматриваемые варианты отличаются только утеплителем (слой г).

Конструкция возводимых наружных стен от внутренней поверхности:

- Декоративная панель: $\delta = 10$ мм, $\lambda = 0,15$ Вт/м \times °C, $\rho = 1500$ кг/м²
- Воздушная прослойка: $\delta = 150$ мм, $R = 0,15$ м² \times °C/Вт
- Стальной профилированный лист: $\delta = 0,2$ мм, $\lambda = 58$ Вт/м \times °C, $\rho = 7800$ кг/м³
- Слой эффективной теплоизоляции: $\delta = X$ мм
- Стальной профилированный лист: $\delta = 0,2$ мм, $\lambda = 58$ Вт/м \times °C, $\rho = 7800$ кг/м²

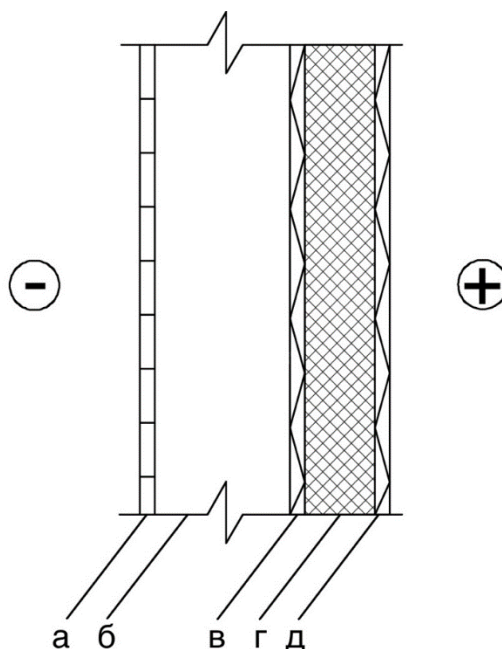


Рисунок 4. Конструкция проектируемой стены (составлено автором)

При проектировании административно-складского здания в г. Москва примем требуемый коэффициент сопротивления теплопередаче согласно российским стандартам (СП 50.3330.2012 Тепловая защита зданий):

$$R_{\text{треб}} = 3,0 \text{ Вт/м} \times \text{°C}$$

Рассчитаем требуемую толщину слоя теплоизоляции стен рассматриваемого административно-складского здания в случае применения утеплителя из минеральной ваты. В данном случае коэффициент сопротивления теплопередачи рассчитывается следующим образом:

$$R_{\text{треб}} = \left(\frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\beta} \right) \times r, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, [Вт/м²×°С], β – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, [Вт/м²×°С], r – коэффициент обеспеченности самой холодной пятидневки

$$R_{\text{треб}} = \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,015} + 0,15 + \frac{0,002}{58} + \frac{X}{\lambda} + \frac{0,002}{58} + \frac{1}{23} \right) \times 0,95 = 3,0 \text{ м}^2 \times \text{°С/Вт},$$

где X – искомая толщина теплоизоляции в мм, δ – толщина рассматриваемого слоя, λ – теплопроводность данного слоя.

Выражая из этого равенства X , получим:

$$X = \left(\frac{3,0}{0,95} - 0,0435 - 0,000034 - 0,000034 - 0,15 - 0,067 - 0,115 \right) \times 0,042 = 120 \text{ мм}.$$

Толщина теплоизоляционного слоя из минеральной ваты равна $X = 120$ мм.

1. Пенополистирол (PUR)

$$X = \left(\frac{3,0}{0,95} - 0,0435 - 0,000034 - 0,000034 - 0,15 - 0,067 - 0,115 \right) \times 0,037 = 100 \text{ мм}.$$

Минимально допустимая толщина пенополистирола равна, $X = 100$ мм.

2. Пенополиизоцианурат (PIR)

$$X = \left(\frac{3,0}{0,95} - 0,0435 - 0,000034 - 0,000034 - 0,15 - 0,067 - 0,115 \right) \times 0,027 = 75 \text{ мм}.$$

Слой эффективной теплоизоляции должен быть: $X = 75$ мм.

3. Вакуумные панели (VIP)

$$X = \left(\frac{3,0}{0,95} - 0,0435 - 0,000034 - 0,000034 - 0,15 - 0,067 - 0,115 \right) \times 0,005 = 14 \text{ мм}.$$

Достаточная толщина для теплоизоляции административно-складского помещения равна всего $X = 14$ мм.

Систематизируем полученные данные для наглядности в виде таблицы:

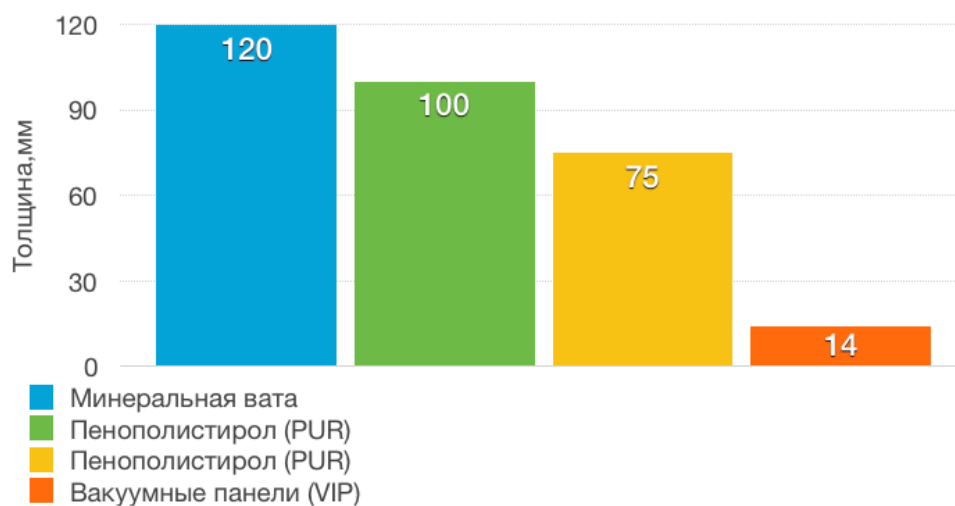


Рисунок 5. Требуемая толщина теплоизоляции (составлено автором)

Исходя из площади ограждающей конструкции $A = 10\,368 \text{ м}^2$ и плотности материала, сравним суммарную массу слоя теплоизоляции.

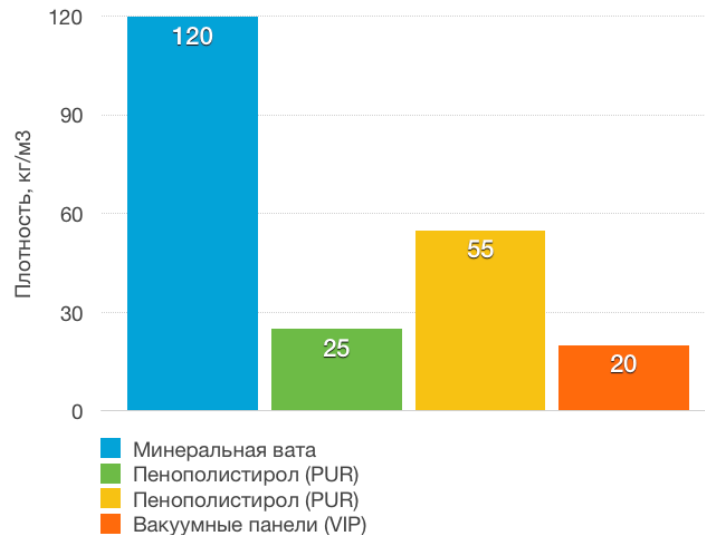


Рисунок 6. Плотность рассматриваемых материалов (составлено автором)

1. Минеральная вата

Рассчитаем вес ограждающей конструкции с утеплителем из минеральной ваты по следующей формуле:

$$m = A \times \sum \delta \times \rho, \tag{2}$$

где $\sum \delta \times \rho$ – сумма произведения плотности на толщину для всех четырех слоев проектируемой конструкции. Таким образом, $m = 373\,320$ кг суммарная масса всего здания составляет $M = 517\,820$ кг.

2. Пенополистирол (PUR)

Аналогично пункту 1 рассчитаем вес ограждающей конструкции стены согласно формуле (1) и получим $m = 300\,492$ кг, $M = 444\,992$ кг.

3. Пенополиизоцианурат (PIR)

Для данного материала согласно формуле (1) $m = 310\,437$ кг, $M = 454\,937$ кг.

4. Вакуумные панели (VIP)

Вес ограждающей конструкции будет составлять $m = 285\,804$ кг, а общая масса здания $M = 430\,304$ кг, вычисления производятся аналогично пункту 1.

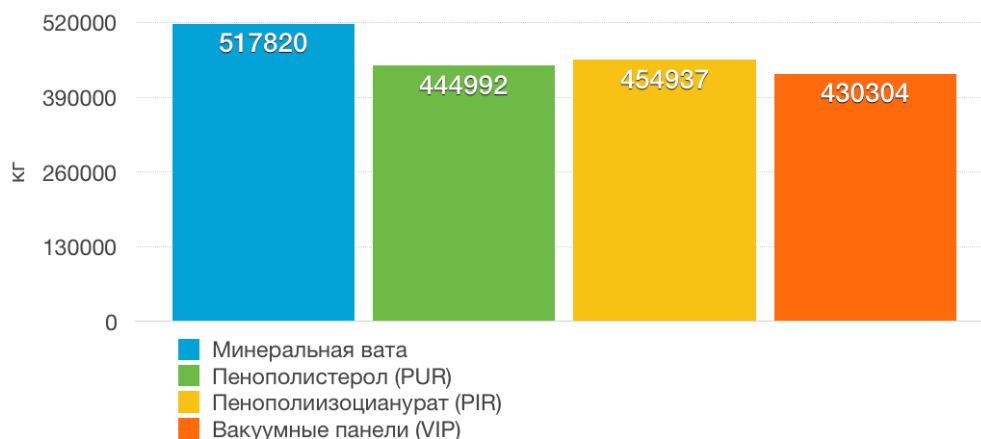


Рисунок 7. Масса здания, в зависимости от выбора теплоизоляционного материала (составлено автором)

Вывод

Минеральная вата – это самый распространённый на сегодняшний день теплоизоляционный материал при строительстве промышленных административно-складских зданий и конструкций, но не самый эффективный. Кроме того, данный вид теплоизоляционного материала имеет ряд недостатков, например, эффективность данного материала резко снижается при контакте с водой.

Наибольшую экономию в массе здания удалось достичь за счет применения пенополистирола в качестве эффективной теплоизоляции промышленного административно-складского здания в г. Москва, при этом масса здания снизилась на 14 %, а также при использовании вакуумных панелей, при которых масса здания снижается на 17 %.

Замена устаревших плит из минеральной ваты может быть произведена по технологии, описанной в статьях [7–10], где авторы предложили обрабатывать минеральную вату специальным щелочным раствором и использовать ее для получения вяжущих или пористых материалов из керамики. Таким образом, отходы минеральной ваты будут повторно использоваться в строительстве.

В условия технологического прогресса строительства нормы и требования к теплоизоляции промышленных зданий и сооружений, особенно расположенных в северных регионах, становятся более требовательными. Появляется необходимость использования современных теплоизоляционных материалов.

Значительное преимущество использования более эффективных теплоизоляционных материалов при проектировании конструкции, таких как пенополистирол (PUR) и вакуумные панели (VIP), облегчают массу возводимой конструкции на 18 и 19 % соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Alberto Rosas-Flores, D. Rosas-Flores. Potential energy savings and mitigation of emissions by insulation for residential buildings in Mexico // Energy and buildings – 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109698>.
2. K. Biswasa, T. Patelb, S. Shresthaa-Douglas, S. AndreDesjarlaisa. Whole building retrofit using vacuum insulation panels and energy performance analysis // Energy and buildings – 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109430>.
3. M. Gonçalvesab, N. Simõesab, C. SerraabInês Flores-Colenc. A review of the challenges posed by the use of vacuum panels in external insulation finishing systems // Applied energy – 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114028>.
4. R. Shan, G. Shen-Weic. Evaluation of anchor bolt effects on the thermal performance of building insulation materials // Journal of building engineering – 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2020.101200>.
5. M. Casini. Insulation Materials for the Building Sector: A Review and Comparative Analysis // Encyclopedia of renewable and sustainable materials – 2020 – Pp. 121–132. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10682-4>.
6. W. Ji, D. Wang, J. Guob, B. Feic, X. Guad, H. Liad, J. Sunac, S. Zhangad. The preparation of starch derivatives reacted with urea-phosphoric acid and effects on fire performance of expandable polystyrene foams / Carbohydrates polymers – 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115841>.
7. J. Yliniemia, B. Walkleybc, J.L. Provisb, P. Kinnunen, M. Illikainen. Nanostructural evolution of alkali-activated mineral wools // Cement and concrete composites – 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103472>.
8. Z. Chena, H. Wanga, R. LiliLiua, C. Cheesemanc, X. Wanga. Reuse of mineral wool waste and recycled glass in ceramic foams // Ceramics international – 2019 – Pp. 15057–15064. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.04.242>.
9. R. Yaxian, Z. Zehui, Z. Ziwei, C. Shen, W. Xiaoyong, J. MeiZhang. Utilization of mineral wool waste and waste glass for synthesis of foam glass at low temperature // Construction and building materials – 2019 – Pp. 623–632. DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.226>.
10. C. Piña, R. Evangelina, A. Sánchezb, M. Río Merinoa, C. Viñas, A. Alejandra, V. Barriguete. Feasibility of the use of mineral wool fibres recovered from CDW for the reinforcement of conglomerates by study of their porosity // Construction and building materials – 2018 – Pp. 460–468. DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.026>.

Egereva Elvira Nikolaevna

Moscow state university of civil engineering (national research university), Moscow, Russia
E-mail: EgerevaEN@mail.ru

Yukhano David Daniilovich

Moscow state university of civil engineering (national research university), Moscow, Russia
E-mail: d.78350@gmail.com

Weight optimization of an administrative-warehouse building using modern heat-insulating materials

Abstract. Modern heat-insulating materials have a number of advantages, such as low weight, preservation of heat-insulating properties in wet conditions, high fire safety class. Thermal insulation materials are used for the construction of both new buildings and for the modernization of existing buildings and structures. The article analyzed the design solution for a typical administrative building in industrial construction in Moscow and proved the choice of its heat-insulating materials, building systems and design solutions.

The aim of this work is to find the most effective means of thermal insulation of buildings and structures, to reduce the mass of their frame structures, increase the manufacturability of construction, improve the temperature and humidity conditions of rooms, as well as to prevent negative effects on buildings and structures resulting from the degradation of existing thermal insulation, its insufficient quality, manufacturability and other factors.

In the design solution during the construction of the administrative and warehouse building, the following types of loads were analyzed: permanent (which include the weight of the roof and metal structures, sandwich panels) temporary long-term, taking into account the weight of equipment, furniture, as well as temporary short-term loads, including snow and wind loads.

To justify the advantages of some heat-insulating materials over others, the mass of the main supporting frame of the administrative warehouse building was calculated taking into account the supporting structures – columns, trusses, half-timbered racks, beams and floor slabs using approximation methods. Using analytical methods of calculation, a decrease in the total mass of the building due to the use of more technological heat-insulating materials was clearly demonstrated.

The significant advantage of using the most effective heat-insulating materials, such as expanded polystyrene (PUR) and vacuum panels (VIP), which facilitate the weight of the designed structure by 18–19 % and provide the same thermal-insulation effect, is shown in the design of the administrative building in Moscow.

Keywords: thermal insulation; heat-insulating materials; industrial construction; thermal resistance; administrative building; weight optimization; building modernization; energy efficiency