

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ, СООРУЖЕНИЯ

DOI: 10.15593/2409-5125/2020.02.04

УДК 699.865

Д.В. Высоцкий, Д.А. Татьянников

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ УТЕПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

После изменения строительных теплотехнических требований в 1996–2000 гг. для большинства зданий, построенных ранее, стал актуален вопрос приведения теплозащитной оболочки здания в соответствие с действующими нормами. Объектом исследования является вспомогательное одноэтажное производственное здание склада со встроенными административно-бытовыми помещениями 1970-х гг. постройки. Цель исследования – сравнение и выбор вариантов утепления ограждающих конструкций исследуемого здания на основе их технико-экономического анализа. Определенный элемент новизны вносит комплексный подход к утеплению здания – при исследовании решены задачи поиска способов утепления полов, стен, покрытия, фундамента и основания здания. Для сравнения брались наиболее распространенные технологии утепления. Выбор варианта для той или иной конструкции обоснован экономически. Расчеты производились аналитическим методом с использованием положений СП 50.13330.2012¹. Цены на материалы брались из открытых источников.

В результате наиболее экономичными вариантами утепления стали следующие:

1. Для пола, покрытия, основания и фундаментов – экструзионный пенополистирол.
2. Для стен – плиты минеральной ваты с фасадом типа «мокрая штукатурка».

Также в процессе исследования рассмотрен способ утепления стен с помощью жидких керамических теплоизоляционных покрытий. Расчет с использованием коэффициента теплопроводности, заявляемого производителем, величиной 0,001 Вт/(м·°С) показал экономическую нецелесообразность применения данного решения при текущем уровне цен на материал. Результаты исследования могут быть использованы для дальнейших предварительных и справочных расчетов удельной теплозащитной характеристики как объекта исследования, так и зданий с аналогичной конструкцией стен.

Ключевые слова: теплоизоляция зданий, теплозащита, сопротивление теплопередаче, строительная теплотехника, теплозащитная оболочка, теплоизоляционный материал, минеральная вата.

¹ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003 (с Изменением № 1).

Приведение теплового сопротивления в соответствие с действующими нормативами во время реконструкции или капитального ремонта для зданий, построенных до 2000 г., является довольно распространенной задачей.

Объектом исследования является одноэтажное здание склада со стенами из силикатного кирпича толщиной кладки 510 мм, имеющее встроенные административно-бытовые помещения. Такая толщина кладки была широко распространена в 50–90 гг. прошлого века в г. Перми для производственных зданий.

Задачей исследования является выбор наиболее экономичного способа утепления для каждого типа ограждающей конструкции.

Среди современных инновационных технологий утепления стен зданий следует отметить следующие: аддитивные технологии в строительстве [1] и вакуумные панели [2]. При этом заказчик реконструкции или капитального ремонта, инвестируя денежные средства, рассчитывает получить гарантированный результат и, в подавляющем большинстве случаев, принимает решение в пользу проверенных временем способов утепления. Поэтому в данном исследовании использованы только утеплители, широко применяемые в строительстве.

Утепление полов по грунту. Перед выбором способа утепления, материала утеплителя на основании результатов технического обследования здания исходными данными являются:

1. Требуемое сопротивление теплопередаче пола – $R_0^{\text{тп}} = 3,1 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$.
 2. Ширина полосы утепления – 2 м.
 3. Периметр утепления по контуру наружных стен на расстоянии половины ширины полосы утепления (1 м) от их внутренних поверхностей – 60,47 м.
 4. Площадь полосы утепления $S = 120,94 \text{ м}^2$.
- Требуемую толщину утеплителя определяем по формуле

$$\delta = \lambda(R_0^{\text{тп}} - 2,1), \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности утеплителя, Вт/(м·°C).

Формула (1) получена из формулы Е.15 СП 50.13330.2012.

Для сравнения выбраны варианты:

1. Утепление листами экструзионного пенополистирола (ЭПП).
2. Заливка полистиролбетоном марки Д400.
3. Засыпка керамзитом.

Мероприятия по гидроизоляции и толщина стяжки для сравниваемых вариантов идентичны и в расчетах не учитываются. Следует отметить, что на рынке присутствуют и другие материалы, например пеностекло [3]. Технология утепления пола плитами из пеностекла идентична утеплению экструзионным пенополистиролом. При этом коэффициент теплопроводности пеностекла выше, чем у пенополистирола, и стоимость 1 м² пеностекла также выше в несколько раз. Поэтому для сравнения оно не использовалось.

Результаты расчетов толщин сведены в табл. 1, толщины листов приняты с учетом выпускаемых типоразмеров. Коэффициенты теплопроводности взяты из СП 50.13330.2012.

Таблица 1

Толщины слоев утеплителей

Наименование материала	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)	Толщина слоя расчетная δ , м	Толщина слоя принятая $\delta_{пр}$, м	Объем утеплителя $V = S \cdot \delta_{пр}$, м ³
Экструзионный пенополистирол	0,034	0,034	0,04	4,84
Полистиролбетон марки Д400	0,09	0,09	0,09	10,88
Гравий керамзитный	0,12	0,12	0,12	14,51

Сравнение прямых затрат трех вариантов утепления полов представлено на рис. 1. Прямые затраты ресурсов для утепления взяты из соответствующих Государственных элементных сметных норм.

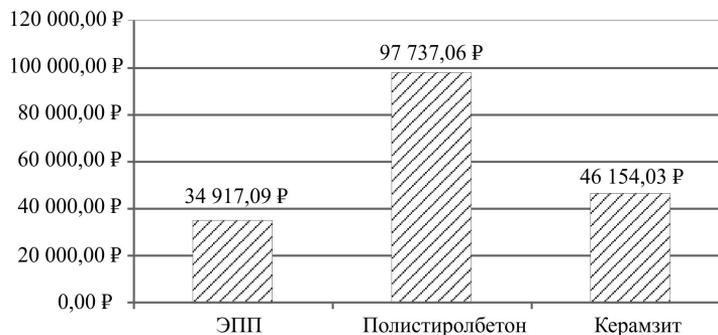


Рис. 1. Диаграмма себестоимости утепления пола по грунту

Цены на материалы взяты из открытых источников [4–6].

Утепление пола ЭПП дает наименьшие прямые затраты, утепление керамзитом дороже по сравнению с ЭПП на 32 %, а полистиролбетоном – на 180 %.

Утепление покрытия. Исходные данные для расчета согласно техническому отчету следующие:

1. Требуемое сопротивление теплопередаче покрытия административно-бытовой части здания – $R_{0\text{ адм.быт}}^{\text{тр}} = 4,08 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$.

2. Требуемое сопротивление теплопередаче покрытия складской части здания – $R_{0\text{ склад}}^{\text{тр}} = 3,05 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$.

3. Теплотехнические характеристики конструкций покрытий, за исключением утеплителя, идентичны и представлены в табл. 2; значения плотностей и коэффициентов теплопроводности приняты на основании СП 50.13330.2012.

4. Уклон обоих покрытий не превышает 10 %.

Толщину утеплителя находим по формуле

$$\delta = \lambda \left[R_0^{\text{тр}} - \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} - \sum R_i \right], \quad (2)$$

где $\sum R_i$ – сумма сопротивлений теплопередаче слоев покрытия без учета утеплителя; $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности покрытия, $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности покрытия, $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Таблица 2

Термические сопротивления слоев покрытий

№ п/п	Наименование материала	Плотность ρ_0 , кг/м ³	Толщина δ , м	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°C)	Термическое сопротивление $R_i = \delta/\lambda$, (м ² ·°C)/Вт
1	Плита покрытия ребристая	2500	0,050	2,04	0,102
2	Пароизоляция	600	0,003	0,17	0,00051
3	Утеплитель	–	–	–	–
4	Цементно-песчаная стяжка	180	0,050	0,93	0,0465
5	Гидроизоляция	600	0,010	0,17	0,0017

Анализ технических решений торговых марок «ПЕНОПЛЭКС», «Технониколь» и URSA показывает, что в качестве теплоизолирующего материала для плоских покрытий производители рекомендуют использовать листы экструзионного пенополистирола. Пример решения бренда URSA [7] по утеплению кровли представлен на рис. 2.

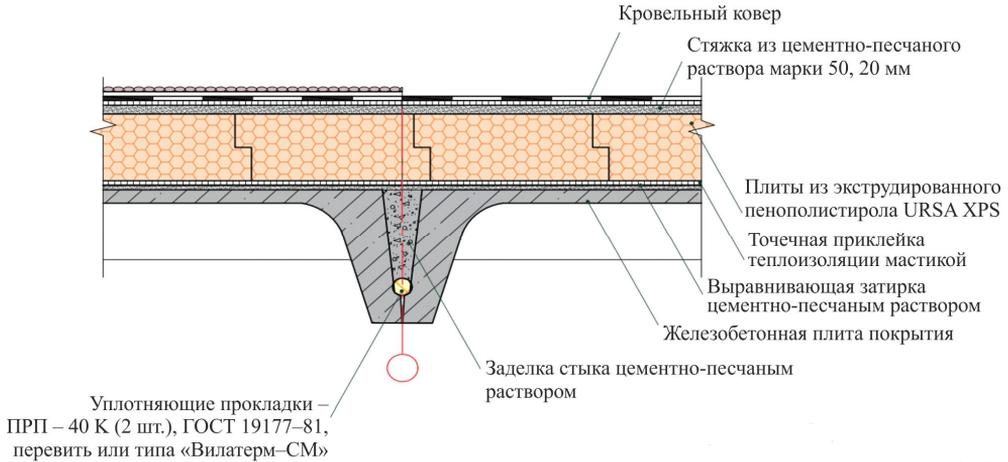


Рис. 2. Утепление кровли на примере типового решения бренда URSA

Полученные толщины ЭПП сведены в табл. 3.

Таблица 3

Толщины листов ЭПП покрытий

Покрытие	Толщина ЭПП по расчету, мм	Толщина слоя ЭПП, мм
Административно-бытовой части	128	130
Склада	93	100

Толщины слоев назначены из имеющихся типоразмеров листов.

Утепление фундамента. При утеплении фундамента одновременно решаются две задачи: снижение тепловых потерь и предотвращение морозного пучения грунта.

Самыми распространенными технологиями являются утепление плитами ЭПП и напыление пенополиуретана (ППУ). Как правило, ППУ применяется для сложных поверхностей, нанесение на которые плитного материала невозможно или нецелесообразно.

СП 50.13330.2012 не устанавливает в явном виде требования к теплопотерям через фундамент. Поэтому техническое решение об утеплении формируется достижением двух целей: ликвидация линейной теплотехнической неоднородности типа «наружная стена – фундамент» и сдвиг на 1,2–1,5 м в сторону от подошвы фундамента ближайшей в уровне точки замерзания грунта.

В Скандинавии имеется опыт более 60 лет эксплуатации фундаментов, утепленных вспененным пенополистиролом. Принимая это во внима-

ние, отечественные изготовители рекомендуют применять более современный материал – ЭПП с толщиной плит 100 мм.

С учетом разницы в коэффициентах теплопроводности ЭПП и ППУ, эквивалентная толщина слоя пенополиуретана составит 70 мм. Стоимости утепления одного квадратного метра вертикальной поверхности фундамента приведены на рис. 3.

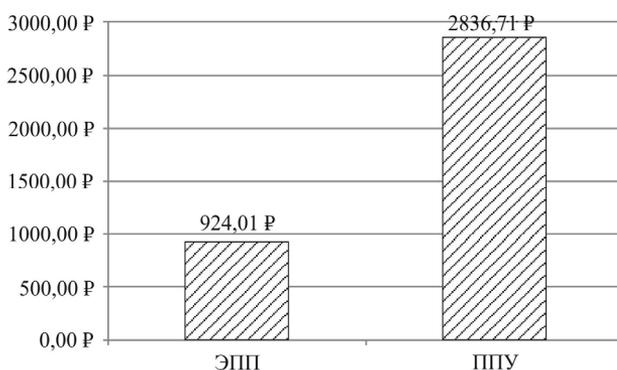


Рис. 3. Диаграмма себестоимости утепления 1 м² поверхности фундамента

Стоимость компонентов ППУ взята из открытого источника [8].

Утепление пенополиуретаном дороже утепления плитами экструзионного пенополистирола более чем в 3 раза.

Утепление стен. Исходные данные для расчета следующие:

1. Требуемое сопротивление теплопередаче стен административно-бытовой части здания согласно техническому отчету $R_0^{тп} = 3,06 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.
2. Расчеты проводим только для наружных стен административно-бытовой части здания.

Варианты утепления фасада:

- вентилируемый фасад с минераловатной изоляцией;
- мокрый штукатурный фасад с минераловатной изоляцией;
- стены с утеплением ЭПП и отделочным слоем из тонкой штукатурки;
- жидкие керамические покрытия (ЖКП) с использованием микросфер из керамики и/или стекла.

Толщина утеплителя определена по формуле (2). В расчетах предварительно учтены линейные и точечные теплотехнические неоднородности путем повышения требуемого сопротивления теплопередаче в 1,5 раза согласно рекомендациям СП 230.1325800.2015. Толщины утеплителей приняты из ряда типоразмеров производителей. Коэффициенты теплопровод-

ности материалов, за исключением ЖКП, взяты из СП 230.1325800.2015. Коэффициент теплопроводности ЖКП взят из статьи [9]. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Толщины утеплителей для наружных стен

Наименование варианта	Материал утеплителя	Коэффициент теплопроводности утеплителя λ , Вт/(м·°С)	Толщина слоя расчетная δ , м	Толщина слоя принятая $\delta_{пр}$, м
Вентфасад с минераловатной изоляцией	Минеральная вата	0,046	0,1679	0,2
Мокрый штукатурный фасад с минераловатной изоляцией	Минеральная вата	0,046	0,1677	0,2
Стены с утеплением ЭПП и отделочным слоем из тонкой штукатурки	ЭПП	0,034	0,134	0,15
Жидкие керамические покрытия	ЖКП	0,001	0,0044	0,006

Затраты на 100 м² площади фасада посчитаны с учетом норм ГЭСН. Цены на материалы взяты из открытых источников [10, 11].

Результаты расчетов затрат представлены на рис. 4.

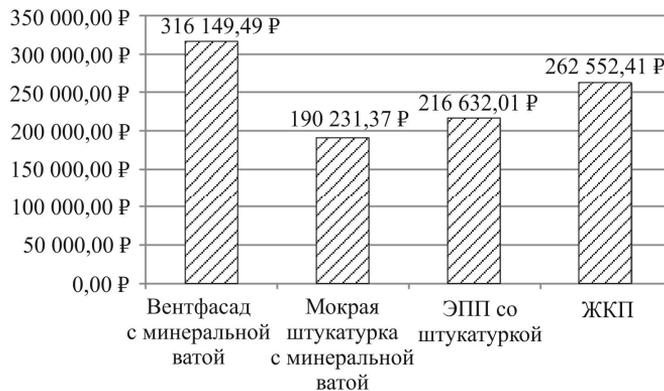


Рис. 4. Диаграмма себестоимости утепления 100 м² поверхности стены

Вариант фасада «мокрая штукатурка» с минераловатными плитами является самым экономичным. По сравнению с ним вентфасад с минераловатной изоляцией дороже на 66 %, ЭПП со штукатуркой дороже на 14 % и утепление ЖКП – на 38 %.

К выводу об экономической целесообразности варианта «мокрая штукатурка» с минераловатными плитами также пришли авторы в статьях [12, 13]. Назначение толщины плиты минеральной ваты в 200 мм оправдано с точки зрения соблюдения требования по перепаду между температурой воздуха внутри помещения и температурой поверхности стены. Вариант утепления стен изнутри в исследовании не рассматривался.

Исследования [14] подтверждают горючесть ЭПП в том числе с антипирентными добавками. Это является аргументом против такого варианта утепления фасада.

Согласно источнику [15] заявляемый изготовителями ЖКТ коэффициент теплопроводности в $0,001-0,0002 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ не соответствует действительности. Подтвержденный испытаниями коэффициент составляет около $0,114 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, т.е. больше на два порядка величины, использованной в расчетах.

Анализ результатов. При утеплении полов вариант с ЭПП оказался предпочтительнее, так как он не требует затрат на механизацию и объем изымаемого грунта минимален.

Утепление фундамента плитами ЭПП экономичнее варианта с ППУ, поскольку стоимость материальных затрат на 1 м^2 меньше и монтаж плит не требует специального оборудования.

Разница в себестоимости варианта вентилируемого фасада и варианта «мокрая штукатурка» при одинаковой толщине минераловатного утеплителя обусловлена в основном материальными затратами на облицовочный материал.

Вариант утепления стены с использованием ЭПП, как и вариант с ЖКП, дороже варианта «мокрая штукатурка» за счет стоимости утеплителя.

Выводы. По результатам выполненных предварительных расчетов можно сделать следующие выводы:

– для утепления полов по грунту самым экономичным получился вариант с использованием плит ЭПП; по сравнению с ЭПП утепление керамзитом дороже на 32 %, а полистиролбетоном – на 180 %;

– отечественные производители утеплителей рекомендуют решения для плоских покрытий с использованием плит ЭПП;

– при утеплении фундаментов листы ЭПП экономически целесообразнее ППУ; утепление пенополиуретаном дороже утепления плитами экструзионного пенополистирола более чем в 3 раза;

– из рассмотренных вариантов утепления фасада «мокрая штукатурка» с минераловатным утеплителем имеет наименьшую себестоимость; по сравнению с ним вентфасад с минераловатной изоляцией дороже на 66 %, ЭПП со штукатуркой – на 14 % и утепление ЖКП – на 38 %.

Библиографический список

1. Additive manufacturing in construction: First 3-D printed reinforced concrete components using shotcrete 3-D printing (SC₃DP) technology / H. Kloft, N. Hack, J. Mainka, L. Brohmann, E. Herrmann, L. Ledderose, D. Lowke // *Bautechnik*. – 2019. – Vol. 96, iss. 12. – P. 929-938. DOI: 10.1002/bate.201900094
2. Thermal performance analysis of a new structured-core translucent vacuuminsulation panel in comparison to vacuum glazing: Experimental and theoretically validated analyses / Takao Katsuraa, Saim Memonb, Ali Radwana, Makoto Nakamuraa, Katsunori Naganoa // *Solar Energy*. – 2020. – Vol. 199. – P. 326-346. DOI: 10.1016/j.solener.2020.02.030
3. High-speed synchrotron X-ray imaging of glass foaming and thermal conductivity simulation / Martin B. Østergaard, Manlin Zhang, Xiaomei Shen, Rasmus R. Petersen, Jakob König, Peter D. Lee, Yuanzheng Yue, Biao Cai // *Acta Materialia*. – 2020. – Vol. 189. – P. 85-92. DOI: 10.1016/j.actamat.2020.02.060
4. OpenMP: сайт. – URL: <https://shop.tn.ru/teploizoljacija/xps> (дата обращения: 13.03.2020).
5. OpenMP: сайт. – URL: <https://zavodpb.ru/info/price/> (дата обращения: 13.03.2020).
6. OpenMP: сайт. – URL: <http://uralgrup.ru/products/keramzit> (дата обращения: 13.03.2020).
7. OpenMP: сайт. – URL: <https://www.ursa.ru/library/architecture/albums/> (дата обращения: 16.03.2020).
8. OpenMP: сайт. – URL: <https://www.rpsk.ru/price/> (дата обращения: 13.03.2020).
9. Бухмиров В.В., Гаськов А.К. Применение тонкопленочных покрытий в целях энергосбережения // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. – 2015. – № 5. – С. 26–31.
10. OpenMP: сайт. – URL: http://urfas.ru/raschet_ventiliruemykh_fasadov.php (дата обращения: 13.03.2020).
11. OpenMP: сайт. – URL: <http://www.tdzgroup.ru/price/bron> (дата обращения: 13.03.2020).
12. Гамаюнова О.С. Модель и методика принятия рационального решения по обеспечению энергоэффективности домов старого фонда военных городков // *Труды военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Военно-строительные комплексы и конструкции*. – 2019. – № 669. – С. 18–28.
13. Лукинов В.А., Манухина Л.А., Малова Ю.А. Реконструкция зданий старой застройки с применением инновационных энергосберегающих технологий // *Недвижимость: экономика, управление*. – 2016. – № 2. – С. 32–35.
14. Акулова М.В., Мочалов А.М. О результатах исследования влияния огнезащитных составов на основе органосилоксанов на воспламеняемость пенополистирола // *Современные проблемы гражданской защиты*. – 2019. – № 2 (31). – С. 48–55.
15. Thermal performance of thermal paint and surface coatings in buildings in heating dominated climates / A. Simpson, R. Fitton, I.G. Rattigan, A. Marshall, G. Parr, W. Swan // *Energy & Buildings*. – 2019. – Vol. 197. – P. 196-213. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.04.027

References

1. Kloft H., Hack N., Mainka J., Brohmann L., Herrmann E., Ledderose L., Lowke D. Additive manufacturing in construction: First 3-D printed reinforced concrete components using shotcrete 3-D printing (SC₃DP) technology. *Bautechnik*, 2019, Vol. 96, Iss. 12, pp. 929-938. DOI: 10.1002/bate.201900094
2. Takao Katsuraa, Saim Memonb, Ali Radwana, Makoto Nakamuraa, Katsunori Naganoa. Thermal performance analysis of a new structured-core translucent vacuuminsulation panel in comparison to vacuum glazing: Experimental and theoretically validated analyses. *Solar Energy*, 2020, Vol. 199, pp. 326-346. DOI: 10.1016/j.solener.2020.02.030
3. Martin B. Østergaard, Manlin Zhang, Xiaomei Shen, Rasmus R. Petersen, Jakob König, Peter D. Lee, Yuanzheng Yue, Biao Cai. High-speed synchrotron X-ray imaging of glass foaming and thermal conductivity simulation. *Acta Materialia*, 2020, Vol. 189, pp. 85-92. DOI: 10.1016/j.actamat.2020.02.060
4. OpenMP, available at: <https://shop.tn.ru/teploizoljacija/xps> (accessed 13 March 2020).
5. OpenMP, available at: <https://zavodpb.ru/info/price/> (accessed 13 March 2020).

6. OpenMP, available at: <http://uralgrup.ru/products/keramzit> (accessed 13 March 2020).
7. OpenMP, available at: <https://www.ursa.ru/library/architecture/albums/> (accessed 16 March 2020).
8. OpenMP, available at: <https://www.rpsk.ru/price/> (accessed 13 March 2020).
9. Bukhmirov V.V., Gas'kov A.K. Primenenie tonkoplennoknykh pokrytiy v tseliakh energosberezheniya [Application of thin-film coatings for energy saving] *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2015, no. 5, pp. 26-31.
10. OpenMP, available at: http://urfas.ru/raschet_ventiliruemykh_fasadov.php (accessed 13 March 2020).
11. OpenMP, available at: <http://www.tdzgroup.ru/price/bron> (accessed 13 March 2020).
12. Gamaionova O.S. Model' i metodika priniatiia ratsional'nogo resheniia po obespecheniiu energoeffektivnosti domov starogo fonda voennykh gorodkov [Model and methodology of rational decision making on ensuring energy efficiency of houses of the old fund of military cities]. *Trudy voenno-kosmicheskoi akademii imeni A.F.Mozhaiskogo. Voенно-stroitel'nye kompleksy i konstruksii*, 2019, no. 669, pp. 18-28.
13. Lukinov V.A., Manukhina L.A., Malova Iu.A. Rekonstruktsiia zdaniy staroi zastroiki s primeneniem innovatsionnykh energosberegaiushchikh tekhnologii [Reconstruction of old buildings using innovative energy-saving technologies] *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie*, 2016, no. 2, pp. 32-35.
14. Akulova M.V., Mochalov A.M. O rezul'tatakh issledovaniia vliianiia ogneshchitnykh sostavov na osnove organosiloksanov na vosplameniyaemost' penopolistirola [On the results of the study of the effect of flame retardants based on organosiloxanes on the flammability of polystyrene foam]. *Sovremennye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2019, no. 2 (31), pp. 48-55.
15. Simpson A., Fitton R., Rattigan I.G., Marshall A., Parr G., Swan W. Thermal performance of thermal paint and surface coatings in buildings in heating dominated climates. *Energy & Buildings*, 2019, Vol. 197, pp. 196-213. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.04.027

Получено 17.03.2020

D. Vysotsky, D. Tatyannikov

COMPARISON OF INSULATION OPTIONS FOR A PRODUCTION BUILDING DURING RECONSTRUCTION

After the change in building heat engineering requirements in 1996–2000 for most buildings built earlier, the issue of bringing the heat-resistant coating of the building in accordance with applicable standards has become relevant.

The object of the study is an auxiliary one-story warehouse building with built-in administrative and utility rooms of the 1970s.

The purpose of the study is a comparison and selection of insulation options for the envelope of the building based on their technical and economic analysis.

A certain element of novelty is introduced by an integrated approach to building insulation. During the study, the tasks of finding methods of insulation were solved for floors, walls, cover, foundation and base of the building. For comparison, the most common insulation technologies were taken. The choice of a particular design was economically justified. The calculations were performed by the analytical method using the provisions of SP 50.13330.2012 (thermal performance of the buildings). Prices for materials were taken from open sources.

As a result, the most economical options for insulation were the following:

1. For floor, building coverage, base and foundations – extruded polystyrene foam.
2. For walls – mineral wool slabs with a “wet plaster” facade.

Also in the research process, a method of wall insulation using liquid ceramic thermal insulation coatings was considered. A calculation using the coefficient of thermal conductivity declared by the manufacturer, of $0.001 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ showed the economic inexpediency of applying this solution at the current price level for the material.

The results of the study may be used for further preliminary and referential calculations of the specific heat-shielding characteristics of both the object of study and buildings with a similar wall design.

Keywords: thermal insulation of buildings, thermal protection, resistance to heat transfer, construction heat engineering, heat-shielding cover, heat insulating material, mineral wool.

Высоцкий Денис Владимирович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, (614990, г. Пермь, Комсомольский пр. 29, e-mail: dv22111979@gmail.com).

Татьянников Даниил Андреевич (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, (614990, г. Пермь, Комсомольский пр. 29, e-mail: danco777@mail.ru).

Denis Vysotsky (Perm, Russian Federation) – Master's Degree student, Department of Structural Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: dv22111979@gmail.com).

Daniil Tatyannikov (Perm, Russian Federation) – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Structural Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: danco777@mail.ru).