INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

TROFIMOV Valerij Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor of the Department Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vitrofa@mail.ru

GULTYAEV Vadim Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Roads, Substructures and Foundations, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vig0@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Trofimov V.I., Gultyaev V.I. Increasing efficiency of construction of airfield complexes in conditions of Extreme North // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 2 (14), pp. 20–30.

УДК 692.23

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

С.В. Черемных

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Черемных С.В., 2022

Аннотация. Рассматривается влияние теплотехнических характеристик ограждающей конструкции на санитарно-гигиенические условия и условия энергоэффективности зданий и сооружений. В качестве ограждающей конструкции принимается наружная стена производственного здания, расположенного в г. Братске. Определение расчетных параметров наружной среды для района строительства выполняется согласно нормативной документации с учетом нормативных санитарно-гигиенических показателей микроклимата региона, внутренней среды объекта и режима эксплуатации здания и его помещений. Особое внимание уделяется определению требуемого термического сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, при вычислении которого рассчитывается толщина слоя многослойной неоднородной конструкции (утеплителя). Расчет выполняется с целью проверки соответствия нормируемых условий по превышению расчетного сопротивления теплопередачи над требуемым сопротивлением.

Ключевые слова: ограждающая конструкция, утеплитель, теплопроводность, энергоэффективность, теплоотдача, климатология.

DOI: 10.46573/2658-7459-2022-2-30-39

ВВЕДЕНИЕ

От теплотехнических качеств наружных ограждений зданий зависит ряд важных факторов, таких как благоприятный микроклимат внутренней среды зданий, обеспечение

температуры и влажности воздуха в помещении не ниже нормативных санитарно-гигиенических и строительно-технических требований, а также расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий за отопительный период [1–4].

В свою очередь, температура внутренней поверхности ограждения, обеспечивающая отсутствие конденсата, а также сверхнормативной асимметрии температуры, воздействующей на человека внутри помещения и влажностный режим конструктивного решения ограждения, влияющий на его теплозащитные качества, также влияет на продолжительность срока эксплуатации ограждающих конструкций и здания в целом [5].

Обеспечение нормативных параметров микроклимата внутренней среды зданий обеспечивается за счет соответствующей толщины и эффективности ограждающей конструкции, мощности систем отопления, вентиляции или кондиционирования [6].

Для расчета ограждающих конструкций разработаны методики теплотехнического расчета, основанные на том, что оптимальная толщина и эффективность конструкции определяются исходя из климатических показателей района строительства, нормативных санитарно-гигиенических условий эксплуатации зданий и помещений, условий энергосбережения и энергоэффективности зданий и экономической целесообразности и сроков окупаемости затрат на строительство зданий [6].

Физический смысл методики теплотехнического расчета заключается в определении минимального достаточного значения сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции. При этом расчетное значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции должно быть не меньше величины, требуемой по санитарно-гигиеническим и строительно-техническим показателям [7].

В представленной статье в качестве примера рассматривается расчет многослойной ограждающей конструкции согласно СП 50.13330.2012 [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В простейшем виде ограждающая конструкция здания по своей расчетной схеме представляет собой плоскую конструкцию (стенку), ограниченную параллельными поверхностями. Она разделяет воздушные среды с разными температурами [9].

Для определения требуемой толщины утеплителя и вычисления приведенного сопротивления теплопередаче многослойной ограждающей конструкции производственного здания в качестве исходных данных предположим, что конструкция выполнена согласно рисунку. Цифрами обозначены слои:

1 – кладка из керамического кирпича толщиной $\delta = 120$ мм;

2 – пенополиуретан, толщину которого примем за неизвестную;

3 – кладка из сплошного глиняного кирпича толщиной $\delta = 380$ мм;

4 – штукатурка (цементно-песчаный раствор) толщиной $\delta = 20$ мм.

Расчетные параметры наружной среды, необходимые для расчета сопротивления теплопередаче, приведены в СП 50.13330.2012 и определяются по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» [8]. К ним относятся:

средняя температура воздуха периода со среднесуточной температурой воздуха меньше 8 °С, определяется по табл. 1 СП 131.13330.2012: $t_{ht} = -8{,}6$ °С;

продолжительность периода со среднесуточной температурой воздуха меньше 8 °С, определяется по табл. 1 СП 131.13330.2012: $z_{ht} = 249$ сут;

средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, определяется по табл. 1 СП 131.13330.2012: $t_{ext} = -39$ °С.

Для определения режима эксплуатации помещения с учетом нормативных санитарно-гигиенических показателей микроклимата его внутренней среды определим параметры воздушной среды для обеспечения минимально допустимых условий комфортности внутри жилого помещения в холодный период года (согласно СП 23-101-2004):

температура воздуха $t_{int} = 18$ °С;

относительная влажность воздуха $j_{int} = 40$ %.

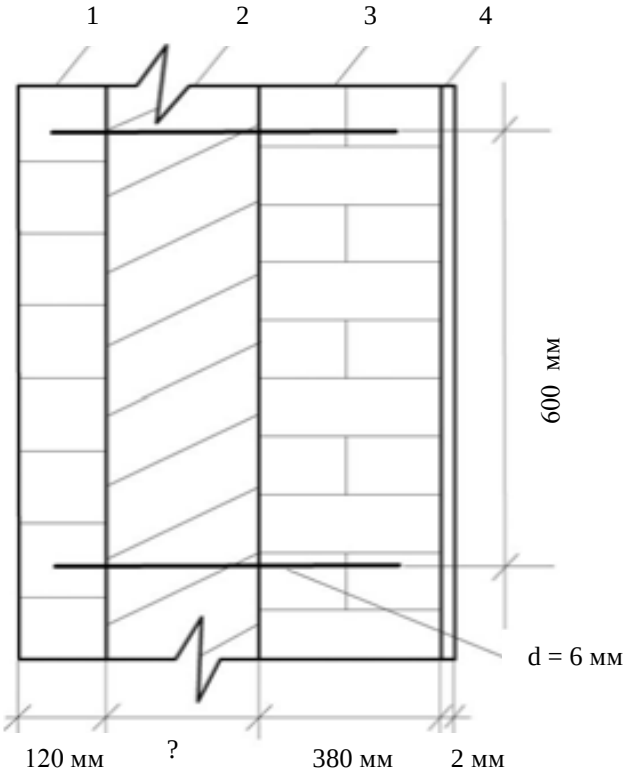

Схема ограждающей конструкции

В зависимости от относительной влажности и температуры внутреннего воздуха режим эксплуатации помещения в холодный период года определяется по табл. 1 СП 50.13330.2012 как сухой.

Условия эксплуатации ограждающей конструкции определяются с учетом климатических показателей района строительства и режима эксплуатации зданий и помещений.

Зона влажности района строительства по климатическим показателям наружной среды согласно прил. «В» к СП 50.13330.2012 определяется как сухая.

Условия эксплуатации ограждающей конструкции определяются по табл. 2 СП 50.13330.2012. Для сухого режима эксплуатации помещения и сухой зоны влажности условия эксплуатации ограждающей конструкции соответствуют параметру «А».

Определяем градусы-сутки отопительного периода, °С·сут [8]:

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht};$$

$$D_d = (18 + 8,6) \cdot 249 = 66\,23,4.$$

Находим нормированное сопротивление теплопередаче [8]

$$R_{req} = a \cdot D_d + b,$$

где a = 0,000 35;

b = 1,4 согласно примечанию к табл. 4 СП 50.13330.2012, т.е.

$$R_{req} = 0,000\,2 * 6\,623,4 + 1 = 2,32 \text{ м}^2 \cdot °\text{С/Вт}.$$

Находим требуемое условное сопротивление теплопередаче [8]

$$R_0^{усл.\,тр} = \frac{R_{req}}{r},$$

где $R_0^{усл.\,тр}$ – требуемое сопротивление теплопередаче конструкции без учета теплотехнической неоднородности ограждающей конструкции;

r – коэффициент теплотехнической неоднородности, «глади», глухой части стены. В рассматриваемом варианте принимаем $r = 0,87$. Получим

$$R_0^{усл.\,тр} = \frac{2,32}{0,87} = 2,67 \text{ м}^2 \cdot °\text{С/Вт}.$$

В общем случае утеплители выбирают по критериям теплопроводности и пожарной безопасности, но этого недостаточно. Нужно обязательно обращать внимание на такие показатели, как плотность, гибкость и упругость плит. Дело в том, что наибольший эффект от применения утеплителей достигается только в том случае, когда они плотно прилегают к утепляемой поверхности и друг к другу [10–18]. Между плитами утеплителя и стеной не должно оставаться пустот и зазоров. В данном случае был использован пенополиуретан на синтетическом связующем, требуемое значение сопротивления теплопередаче которого находим согласно п. 8 СП 50.13330.2012 [8]:

$$R_{ут}^{тр} = R_0^{усл.\,тр} - (R_в + \sum R_{m,\,изв} + R_н),$$

где $R_в = \frac{1}{\alpha_{int}}$ – коэффициент сопротивления теплоотдаче внутренней поверхности ограждающих конструкций, принимаемый по табл. 7 СП 50.13330.2012 ($\alpha_{int} = 0,87$ м$^2 \cdot$°С/Вт);

$R_н = \frac{1}{\alpha_{ext}}$ – коэффициент сопротивления теплоотдаче наружной поверхности ограждающих конструкций, принимаемый по табл. 8 СП 23-101-2004 для наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами $\alpha_{ext} = 23$ м$^2 \cdot$°С/Вт;

$\sum R_{m,\,изв}$ – сумма сопротивления теплопередаче известных слоев ограждающей конструкции [8]:

$$\sum R_{m,\,изв} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + ... + \frac{\delta_n}{\lambda_n},$$

где δ_1 – толщина 1-го известного слоя ограждающей конструкции;

λ_1 – коэффициент теплопроводности 1-го известного слоя ограждающей конструкции;

n – количество слоев многослойной ограждающей конструкции.

Получим:

$$\sum R_{m,\,изв} = \frac{0,12}{0,58} + \frac{0,38}{0,70} + \frac{0,02}{0,76} = 0,78 \text{ м}^2 \cdot °\text{C/Вт};$$

$$R_{ут}^{тр} = 2,67 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{0,58} + \frac{0,38}{0,70} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{1}{23}\right) = 1,74 \text{ м}^2 \cdot °\text{C/Вт}.$$

При выполнении расчетов толщины утеплителя необходимо контролировать значения показателей приведенного сопротивления теплопередаче, которое не должно быть ниже нормируемого значения. Расчетную толщину утеплителя находим по формуле [8]

$$\delta_{ут} = R_{ут}^{тр.} \cdot \lambda_{ут}, \text{ т.е. } \delta_{ут} = 1,99 \cdot 0,05 = 0,087 \text{ м}.$$

Округлив полученный результат в большую сторону, фактическую толщину утеплителя из конструктивных соображений принимаем $\delta_{ут}^{ф} = 0,09$ м.

Для проверки полученного результата определим приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены по формулам [8]:

$$R_0^{усл} = R_в + \sum R_{m,\,изв} + R_н;$$

$$R_0 = R_0^{усл} \cdot r;$$

$$R_0^{усл} = \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{0,58} + \frac{0,09}{0,05} + \frac{0,38}{0,70} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{1}{23}\right) = 2,73 \text{ м}^2 \cdot °\text{C/Вт};$$

$$R_0 = 2,73 \cdot 0,87 = 2,37 \text{ м}^2 \cdot °\text{C/Вт}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика теплотехнического расчета заключается в определении экономически целесообразного сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции. При этом сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции должно быть не меньше требуемого сопротивления теплопередаче.

Проверяем выполнение неравенства (достаточность сопротивления теплопередаче):

$$R_0 = 2{,}73 \geq R_{req} = 2{,}32 \text{ м}^2 \cdot {}^\circ\text{C/Вт},$$

т.е. фактическое приведенное сопротивление теплопередаче не меньше требуемого.

Для установления расчетно-температурного перепада Δt_0 (разница между температурами внутреннего воздуха и внутренней поверхности стены) определим расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции в соответствии с п. 5.8 СП 50.13330.2012 по формуле [8]

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_{int} - t_{ext})}{R_0 \cdot \alpha_{int}},$$

где Δt_0 – расчетная разница между температурами внутреннего воздуха и внутренней поверхности стены;

n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху, принимаемый по табл. 6 СП 50.13330.2012: n = 1;

t_{int} – температура внутреннего воздуха здания, принимаемая по минимальным значениям оптимальной температуры для жилого помещения по табл. 1 СП 23-101-2004: t_{int} = 18 °С;

t_{ext} – температура наружного воздуха в холодный период года, ºС, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92.

Согласно табл. 1 СП 131.13330.2012, $t_{ext} = -39$ ºС.

Получим

$$\Delta t_0 = \frac{1 \cdot (18 + 39)}{2{,}37 \cdot 8{,}7} = 2{,}81\,^\circ\text{C}.$$

Проверяем выполнение условия $\Delta t_0 \leq \Delta t_n$, где Δt_n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 5 СП 50.13330.2012: Δt_n = 3,20 °С. 2,81 °С < 3,20 °С – условие выполняется.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные расчетные характеристики и основные значения применяемых материалов приведены ниже:

№ слоя	Материал	Плотность ρ_0, кг/м^3	Толщина δ, м	Коэффициент теплопроводности
1	Кладка из керамического кирпича	1 600	0,12	0,58
2	Пенополиуретан	80	0,09	0,05
3	Кладка из сплошного глиняного кирпича	1 800	0,38	0,70
4	Штукатурка (цементно-песчаный раствор)	1 800	0,02	0,76

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод о том, что принятая конструкция стены отвечает санитарно-гигиеническим и строительным требованиям к теплопередаче ограждающих конструкций по температурному перепаду.

Решенная задача имеет существенное значение для специалистов, занимающихся вопросами строительной теплотехники и строительной механики, а представленная методика по определению теплотехнических характеристик ограждающих конструкций может быть применена в современных программных комплексах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сташевская Н.А., Минина А.П. Особенности теплотехнического расчета в современном домостроении // *Системные технологии*. 2017. № 2 (23). С. 47–50.
2. Высоцкий Д.В., Татьянников Д.А. Обзор изменений требований строительных норм тепловой защиты зданий // *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. 2020. Т. 2. С. 76–83.
3. Матозимов Б.С., Кутуев М.Д., Супибекова А.К., Юсупов А.Н., Джунушев А.Д. Компьютерный анализ основных задач строительной теплотехники // *Наука и инновационные технологии*. 2016. № 1 (1). С. 261–264.
4. Короткова Л.И., Семиколенова Е.В. Теплопередача наружных ограждающих конструкций зданий с длительным сроком эксплуатации // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*. 2020. Т. 11. № 2. С. 7–10.
5. Burova Z.A. Methods and devices for insulation materials heat-conducting determination // *SWorldJournal*. 2016. T. j1104. № 11. C. 26–29.
6. Иванова Л.В. Развитие нормативных требований к тепловой защите зданий // *Архитектура и дизайн*. 2020. № 1. С. 33–44. DOI: 10.7256/2585-7789.2020.1.35796
7. Высоцкий Д.В., Татьянников Д.А. Сравнение вариантов утепления производственного здания при реконструкции // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. 2020. № 2 (38). С. 57–67. DOI: 10.15593/2409-5125/2020.02.04
8. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: ОАО «НИЦ “Строительство”». 2012. 96 с.
9. Заборова Д.Д., Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Теплотехническая работоспособность многослойной стеновой конструкции // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*. 2017. Т. 23. № 1. С. 18–26.
10. Huang W., Chen T., Jiang Q., Song X., Zhu J., Yu W. Multi-mass synergetic coupling perforated bi-layer plate-type acoustic metamaterials for sound insulation // *International Journal of Modern Physics B*. 2020. Vol. 34. № 13. C. 2050136. DOI: 10.1142/S0217979220501362
11. Pasztory Z., Borcsok Z., Bazhelka I.K., Kanavalava A.A., Meleshko O.V. Thermal insulation panels from tree bark // *Proceeedings of BSTU. Issue 1, Forestry, Nature Management, Processing of Renewable Resources*. 2021. № 1 (240), pp. 141–149.
12. Burova Z.A., Grischenko T.G. Modern standardization methods of insulation materials thermophysical properties measuring in Ukraine // *SWorldJournal*. 2016. Vol. j1110. № 11, pp. 14–17.

13. Kirpluks M., Ivdre A., Fridrihsone A., Cabulis U. Tall oil based rigid polyurethane foams thermal insulation filled with nanofibrillated cellulose // *Polimery/Polymers*. 2020. Vol. 65. № 10, pp. 719–727.
14. Koshlak H., Kaczan A. The investigation of thermophysical characteristics of porous insulation materials based on burshtyn tpp ash // *Rocznik Ochrona Srodowiska*. 2020. T. 22. № 1, pp. 537–548.
15. Wang H., Cai Y., Wang X., Chiang P.C., Chen T.L., Li C., Wei S., Huang Q. Application of wall and insulation materials on green building: a review // *Sustainability*. 2018. Vol. 10. № 9, pp. 3331.
16. Gnanauthayan G., Rengasamy R.S., Kothari V. Heat insulation characteristics of multi-layer nonwovens // *Research Journal of Textile and Apparel*. 2018. Vol. 22. № 2, pp. 94–108.
17. Siqueira F.F.D.S., Nunes L.C.C., Cosse R.L., de Noronha Castro Pinto F.A., Mareze P.H., Silva C.F.E. Characterization of buriti (mauritia flexuosa) foam for thermal insulation and sound absorption applications in buildings // *Buildings*. 2021. Vol. 11. № 7. DOI: 10.3390/buildings11070292
18. Li C., Dong W., Lin L., Zhu X., Liu Q., Zhang Y., Zhai N., Zhou Z., Wang Y., Chen B., Ji Y., Chen X., Xu X., Yang Y., Zhang H., Chen Z. A review of silicon-based aerogel thermal insulation materials: performance optimization through composition and microstructure // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2021. Vol. 553, pp. 120517. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2020.120517

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ЧЕРЕМНЫХ Степан Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», депутат Тверской городской Думы, 170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: cheremnykh_s.v@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Черемных С.В. Методика расчета теплотехнических характеристик многослойной ограждающей конструкции // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 2 (14). С. 30–39.

THE METHOD OF CALCULATING THE BURNING CHARACTERISTICS OF A MULTILAYER ENCLOSING STRUCTURE

S.V. Cheremnykh
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The issue of the influence of thermal engineering characteristics of the enclosing structure on sanitary and hygienic conditions and conditions of energy efficiency of buildings and structures is considered. As part of the enclosing structure, the outer wall of the production building located in the city of Bratsk is accepted. The

determination of the design parameters of the outdoor environment for the construction area is carried out according to the regulatory documentation, taking into account the normative sanitary and hygienic indicators of the microclimate of the region, the internal environment of the object and the operating mode of the building and its premises. In the presented study, special attention is paid to determining the required thermal resistance to heat transfer of the enclosing structure, when calculating which the thickness of the layer of a multilayer inhomogeneous structure (insulation) is calculated. The calculation is performed in order to verify compliance with the normalized conditions for exceeding the calculated heat transfer resistance over the required resistance.

Keywords: enclosing structure, insulation, thermal conductivity, energy efficiency, heat transfer, climatology.

REFERENCES

1. Stashevskaya N.A., Minina A.P. Features of heat engineering calculation in modern housing construction. *Sistemnye tekhnologii*. 2017. No 2 (23), pp. 47–50. (In Russian)
2. Vysotsky D.V., Tatiannikov D.A. Review of changes in the requirements of building standards of thermal protection of buildings. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*. 2020. V. 2, pp. 76–83. (In Russian)
3. Matozimov B.S., Kutuev M.D., Supibekova A.K., Yusupov A.N., Dzhunushev A.D. Computer analysis of the main tasks of construction heat engineering. *Nauka i innovacionnye tekhnologii*. 2016. No. 1 (1), pp. 261–264. (In Russian)
4. Korotkova L.I., Semikolenova E.V. Heat transfer of external enclosing structures of buildings with a long service life. *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya*. 2020. V. 11. No. 2, pp. 7–10. (In Russian)
5. Burova Z.A. Methods and devices for insulation materials heat-conducting determination. *SWorldJournal*. 2016. V. j1104. No. 11, pp. 26–29.
6. Ivanova L.V. Development of regulatory requirements for thermal protection of buildings. *Arhitektura i dizajn*. 2020. No. 1, pp. 33–44. DOI: 10.7256/2585-7789.2020.1.35796 (In Russian).
7. Vysotsky D.V., Tatiannikov D.A. Comparison of options for insulation of industrial buildings during reconstruction. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika.* 2020. No. 2 (38), pp. 57–67. DOI: 10.15593/2409-5125/2020.02.04 (In Russian).
8. Building by-law 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdanij [Thermal protection of buildings]. Updated version of SNiP 23-02-2003. Moscow: OJSC «NIC “Stroitel'stvo”». 2012. 96 p.
9. Zaborova D.D., Musorina T.A., Petrichenko M.R. Thermal performance of multilayer wall construction. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*. 2017. V. 23. No. 1, pp. 18–26. (In Russian).

10. Huang W., Chen T., Jiang Q., Song X., Zhu J., Yu W. Multi-mass synergetic coupling perforated bi-layer plate-type acoustic metamaterials for sound insulation. *International Journal of Modern Physics B*. 2020. V. 34. No. 13, pp. 2050136. DOI: 10.1142/S0217979220501362
11. Pasztory Z., Borcsok Z., Bazhelka I.K., Kanavalava A.A., Meleshko O.V. Thermal insulation panels from tree bark. *Proceeedings of BSTU. Issue 1, Forestry, Nature Management, Processing of Renewable Resources*. 2021. No. 1 (240), pp. 141–149.
12. Burova Z.A., Grischenko T.G. Modern standardization methods of insulation materials thermophysical properties measuring in Ukraine. *SWorldJournal*. 2016. V. j1110. No. 11, pp. 14–17.
13. Kirpluks M., Ivdre A., Fridrihsone A., Cabulis U. Tall oil based rigid polyurethane foams thermal insulation filled with nanofibrillated cellulose. *Polimery/Polymers*. 2020. V. 65. No. 10, pp. 719–727.
14. Koshlak H., Kaczan A. The investigation of thermophysical characteristics of porous insulation materials based on burshtyn tpp ash. *Rocznik Ochrona Srodowiska*. 2020. V. 22. No. 1, pp. 537–548.
15. Wang H., Cai Y., Wang X., Chiang P.C., Chen T.L., Li C., Wei S., Huang Q. Application of wall and insulation materials on green building: a review. *Sustainability*. 2018. V. 10. No. 9, pp. 3331.
16. Gnanauthayan G., Rengasamy R.S., Kothari V. Heat insulation characteristics of multi-layer nonwovens. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2018. V. 22. No. 2, pp. 94–108.
17. Siqueira F.F.D.S., Nunes L.C.C., Cosse R.L., de Noronha Castro Pinto F.A., Mareze P.H., Silva C.F.E. Characterization of buriti (mauritia flexuosa) foam for thermal insulation and sound absorption applications in buildings. *Buildings*. 2021. V. 11. No. 7. DOI: 10.3390/buildings11070292
18. Li C., Dong W., Lin L., Zhu X., Liu Q., Zhang Y., Zhai N., Zhou Z., Wang Y., Chen B., Ji Y., Chen X., Xu X., Yang Y., Zhang H., Chen Z. A review of silicon-based aerogel thermal insulation materials: performance optimization through composition and microstructure. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2021. V. 553, pp. 120517. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2020.120517

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

CHEREMNYKH Stepan Valerievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Deputy of the Tver City Duma, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: cheremnykh_s.v@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Cheremnykh S.V. The method of calculating the burning characteristics of a multilayer enclosing structure // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 2 (14), pp. 30–39.