DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-24-31

Оверченко М.В., аспирант,
Белоус А.Н. *, кандидат технических наук, доцент,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика
*Ответственный автор E-mail: belous.an@yandex.ru

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫБОР СИСТЕМ УТЕПЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Аннотация: в статье поднята проблема повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий при постоянном росте цен на энергоресурсы, что в настоящее время становится все более актуально. Произведен анализ проектных решений зданий общеобразовательных учреждений Донецкой области, выделены и приведены основные типовые серии региона. Рассмотрены вопросы и установлены факторы, влияющие на тепловлажностные характеристики ограждающих конструкций зданий образовательных учреждений. Приведены значения сопротивления теплопередаче для наиболее распространенных типовых серий общеобразовательных школ. Произведено моделирование температурных полей узлов общественных зданий типовых серий. Выявлены наиболее неблагоприятные конструктивные решения серийных зданий по следующим факторам: температуре внутренней поверхности наружных ограждений и температурному перепаду между средней температурой на поверхности и температурой воздуха в помещении. Рассмотрены возможные способы термомодернизации таких зданий с учетом требований по температурному режиму и воздухопроницаемости. Оценено влияние теплопроводных включений на тепловлажностный режим наружных ограждающих конструкций при частичной и полной термомодернизации. Приведен анализ различных методов и способов утепления зданий образовательных учреждений. Указаны преимущества и недостатки предложенных вариантов с экономической точки зрения, а также на основании требований пожарных норм.

Ключевые слова: тепловлажностный режим; теплопроводные включения; энергоэффективность; термомодернизация

Введение

В сложившихся в нынешнее время условиях высоких экономических требований и дефицита энергоресурсов, а также роста стоимости энергоносителей, одной из главных проблем становится снижение энергопотребления. К одним из основных потребителей относят здания и сооружения. Согласно исследованиям ученых, в странах ЕС здания потребляют приблизительно 40% от вырабатываемой энергии что эквивалентно 30% выбросов в атмосферу продуктов углерода. Для снижения затрат и сокращения выбросов в Европе была принята Директива 2010/31/ЕС, согласно которой, новые здания, принадлежащие государству, должны обладать почти нулевыми энергетическими показателями (nZEB) [1-2].

В нашей стране большинство зданий, построенных по старым строительным нормам, нуждаются в термомодернизации. Одно из первых мест в государственной политике по повышению энергоэффективности эксплуатируемых зданий занимают здания образовательных учреждений. Около 90% образовательных учреждений донецкого региона нуждаются в термомодернизации. При своевременном и правильном выборе способа устранения чрезмерных теплопотерь через наружные ограждающие конструкции, возможно снизить затраты на отопление и уменьшить количество потребляемой энергии, экономия от которых перекроет начальные финансовые затраты на термомодернизацию [3-7].

Методы и материалы

На сегодняшний день в Донецкой области насчитывается около 920 эксплуатируемых общеобразовательных школ. Наибольшее распространение получили школы, построенные по типовым проектам:

1. ТП №2-02-27 – школа на 880 учащихся (рис. 1). Этажность – 4. Материал наружных ограждающих конструкций – кирпич обыкновенный. $R_{q\min} = 0,787 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Рис. 1. Типовой проект школы №2-02-27
Fig. 1. Standard project of school No.2-02-27

2. ТП №2-02-73 – школа на 920 учащихся (рис. 2). Этажность – 3. Материал наружных ограждающих конструкций – кирпич обыкновенный. $R_{q\min} = 0,744 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Рис. 2. Типовой проект школы №2-02-73
Fig. 2. Типовой проект школы №2-02-73

3. ТП №224-1-431.85 – школа на 44 класса (рис. 3). Этажность – 4. Материал наружных ограждающих конструкций – кирпич пустотелый кирпич с наружной отделкой из лицевого кирпича. $R_{q\min} = 0,890 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Рис. 3. Типовой проект школы №224-1-431.85
Fig. 3. Standard project of school No.224-1-431.85

4. ТП №222-1-193/75 – школа на 30 классов (рис. 4). Этажность – 3. Материал наружных ограждающих конструкций – керамзитобетонные панели по серии ИИ-04-5. $R_{q\min} = 0,743 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Рис. 4. Типовой проект школы №222-1-193/75
Fig. 4. Standard project of school No.222-1-193/75

5. ТП №222-1-457.85 – школа на 44 класса. Этажность – 3. Материал наружных ограждающих конструкций – керамзитобетонные панели по серии 1.030.1-1. $R_{q\min} = 0,735 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Рис. 5. Типовой проект школы №222-1-457.85
Fig. 5. Standard project of school No.222-1-457.85

Сопrotивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций рассматриваемых образовательных учреждений значительно ниже нормативного значения $R_0^{\text{норм}}$, которое определяется в зависимости от региона строительства по ГСОП согласно [8] и $R_{q\min}$, $(\text{м}^2\cdot\text{К)/Вт}$. Также, для наружных ограждающих конструкций отапливаемых помещений обязательным является выполнение условия $\tau_{\text{вmin}} > t_{\text{min}}$ по предотвращению выпадения конденсата на внутренней поверхности ограждающих конструкций. На основании требований температура внутреннего воздуха в учебных аудиториях, классах, учебных кабинетах школ и высших учебных заведений должна быть в пределах $18-20^\circ\text{C}$.

На тепловые характеристики ограждающих конструкций существенно влияет влажностный режим, который нормируется. На основании ранее проведенных исследований [9], наиболее неблагоприятным с точки зрения тепловлажностного состояния, является конструктивное решение типовых серий ТП №222-1-457.85 и ТП №222-1-193/75 (рис. 6).

Рис. 6. Узел каркасного общественного здания серии ИИ-04
Fig. 6. Knot of frame public building of II-04 series

Для одного из наиболее неблагоприятных вариантов конструктивных решений по серии ИИ-04 было произведено моделирование двумерных температурных полей в программном комплексе THERM 7. Двухмерный анализ теплопередачи основан на методе конечных элементов. Граничные условия на поверхностях (температура внутреннего воздуха $t_{\text{в}} = 20^\circ\text{C}$; допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции $\Delta t_{\text{ст,стен}} = 4^\circ\text{C}$; коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$), подверженных воздействию окружающей среды, назначены в соответствии с климатическими данными месторасположения исследуемого объекта и требованиями санитарно-гигиенических норм (кратность воздухообмена – $16 \text{ м}^3/\text{ч}$ на человека, температура внутреннего воздуха по санитарно-гигиеническим требованиям $t_{\text{в}} \geq 18^\circ\text{C}$). Для остальных поверхностей приняты адиабатические граничные условия [10-12].

Результаты и обсуждения

В ходе моделирования температурных полей, результаты которого представлены на рис. 7 и 8, установлено, что температура внутренней поверхности в обоих узлах не соответствует требованиям нормативных документов, а также температура поверхности узла (рис. 7) ниже температуры точки росы, что свидетельствует об образовании конденсата на внутренней поверхности, влечет за собой образование плесневых грибов на стенах и недопустимо санитарно-гигиеническими нормами. Следовательно, необходима термомодернизация таких зданий с учетом влажностного режима ограждающих конструкций.

Рис. 7. Распределение температурных полей в узле сопряжения стеновой панели и панели перекрытия

Fig. 7. Distribution of temperature fields in the interface node of the wall panel and the floor panel

Рис. 8. Распределение температурных полей в узле сопряжения колонны и стеновой панели

Fig. 8. Distribution of temperature fields in the interface node of the column and wall panel

Частичная термомодернизация (замена оконных блоков на металлопластиковые) в зданиях образовательных учреждений существенно снижает кратность воздухообмена, что приводит к увеличению влажности внутреннего воздуха на 20% и может негативно отражаться на состоянии здоровья учеников и режиме ограждающих конструкций. Длительное или постоянное пребывание людей в таких зданиях вызывает неравномерный прирост влаги внутри помещения, что обуславливает в дальнейших расчетах учитывать нестационарный влажностный режим, требующий дополнительных аналитических и экспериментальных исследований.

Теплопроводные включения значительно повышают теплотери через ограждающие конструкции, однако косвенно способствуют поддержанию нормального влажностного режима помещений за счет инфильтрации воздуха через неплотности в наружных ограждениях. При этом не стоит забывать о продольной фильтрации, которая характерна для панельных зданий с плохо выполненной расшивкой вертикальных швов. Конструкции с продольной фильтрацией характеризуются повышенной влажностью, что также негативно сказывается на тепловых характеристиках стен [13].

При осуществлении термомодернизации зданий образовательных учреждений необходимо использовать современные конструктивные решения, обеспечить герметизацию теплоизолирующего слоя, использовать светопрозрачные ограждающие конструкции с достаточной воздухопроницаемостью. Повысить энергоэффективность наружных ограждающих конструкций возможно за счет:

- применения теплоизоляционных материалов с низким коэффициентом теплопередачи;
- выбора наиболее эффективного для рассматриваемого конструктивного решения способа термомодернизации;
- устройства дополнительной изоляции мостиков холода с учетом влажностного режима.

Вместе с этим необходимо учитывать воздухопроницаемость конструкций и материалов, которая в зимний период года может привести к образованию конденсата в отдельных слоях конструкции. Наиболее эффективным способом повышения теплозащитных характеристик ограждающих конструкций является наружное утепление, как при новом строительстве, так и при реконструкции. Это утепление возможно производить двумя методами:

- 1) применение штукатурных покрытий – система «мокрый» фасад (со скрепленной теплоизоляцией, рис. 9);

Рис. 9. Фрагмент фасада со скрепленной теплоизоляцией
Fig. 9. Fragment of a facade with bonded thermal insulation

2) использование конструктивных систем с воздушным зазором между утеплителем и облицовкой – «сухой» фасад (вентилируемые фасадные системы, рис. 10).

Рис. 10. Фрагмент вентилируемого фасада
Fig. 10. Fragment of a ventilated facade

В зависимости от типа фасадной системы используются различные виды утеплителей. В системах «мокрый» фасад возможно применение минераловатных плит и пенополистирола. Система утепления на пенополистироле экономически более выгодна, однако ее применение в зданиях образовательных учреждений недопустимо противопожарными нормами. Минераловатные плиты удовлетворяют противопожарным требованиям, но в таких системах отделочный слой должен быть выполнен с применением штукатурок с высокой паропроницаемостью, а также использование в конструкции некоторых разновидностей минераловатных плит (базальтовая вата) приводят к ее значительному удорожанию.

Вентилируемые фасадные системы являются более дорогостоящими, в первую очередь, из-за необходимости дополнительного крепления утеплителя во избежание его «сползания» по стене. Также, в системах вентфасадов необходимо предотвращать попадание влаги в воздушную прослойку, что негативно повлияет на теплотехнические свойства утеплителя.

Мероприятия по термомодернизации зданий с применением любого типа фасадной системы сокращают эксплуатационные затраты на отопление зданий. На основании расчетов, выполненных в работе [14], срок окупаемости мероприятий по дополнительному утеплению панельных зданий составляет от 2 до 10 лет в зависимости от способа утепления, толщины и вида теплоизоляционного материала.

Выводы

1. Наружные ограждающие конструкции зданий образовательных учреждений типовых массовых серий до и после частичной термомодернизации не соответствуют требованиям нормативных документов по сопротивлению теплопередаче и санитарно-гигиеническим требованиям.
2. Независимо от типа фасадной системы, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, основным фактором, влияющим на выбор способа утепления, является долговечность теплоизоляционного материала, которая зависит от комплекса факторов, оказывающих воздействие на ограждающую конструкцию.

Литература

1. Ivanova St. Generalized criteria of energy performance evaluation in early design stages of nearly zero-energy buildings // International Scientific and Practical Conference "WORLD SCIENCE". 2016. №2 (6) Vol. 1. P. 22 – 28.
2. Корниенко С.В., Попова Е.Д. «Зеленое» строительство в России и за рубежом // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №4 (55). С. 67 – 93.
3. Алексеенко В.Н., Чепурная Е.А. Особенности капитального ремонта и реконструкции объектов образования Республики Крым // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2016. №2. Т. 2. С. 1 – 8.
4. Спирин А.В., Гришина А.С. Утепление наружных стен при реконструкции кирпичных зданий // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 1. С. 54 – 61.
5. Thorsell T., Bomberg M. Integrated methodology for evaluation of energy performance of the building enclosures: part 3 – uncertainty of thermal measurements // Journal of Building Physics. 2011. Vol. 35. P. 83 – 96.
6. Немова Д.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Кашабин А.В. и др. Техничко-экономическое обоснование мероприятий по утеплению ограждающих конструкций индивидуального жилого дома // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. №8 (23). С. 93 – 115.
7. Kennedy S.D., Vangeem M.G., Lawrence T., Lord R. Energy Efficiency: Building on Standard 90.1 // ASHRAE Journal. 2010. Vol. 52. №6. P. 22 – 28.
8. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. М.: Министерство регионального развития РФ, 2012. 82 с.
9. Оверченко М.В. Анализ влажностного состояния ограждающих конструкций образовательных учреждений // Опыт прошлого – взгляд в будущее: 8-я Международная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов / под общей редакцией доктора техн. наук, проф. Р.А. Ковалева: материалы конференции. Тула: Изд-во ТулГУ, 2018. С. 170 – 174.
10. Frey P.J., George P.L. Mesh Generation: Application to Finite Elements. ISTN Publishing Company, 2000. 814 p.
11. Miranville F., Fakra A.H., Gnichard S. Evaluation of the thermal resistance of a roof-mounted multi-reflective radiant barrier for tropical and humid conditions: Experimental study from field measurements // Energy and Buildings. 2012. Vol. 48. P. 79 – 90.
12. Barrios G., Huelsz G., Rechtman R., Rojas J. Wall/roof thermal performance differences between air-conditioned and non-air-conditioned rooms // Energy and Buildings. 2011. V. 43. №1. P. 219 – 223.
13. Гагарин В.Г., Козлов В.В., Мехнецов И.А. Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях // АВОК. 2005. №8. С.60 – 63.
14. Белоус А.Н., Новиков Б.А., Белоус О.Е. Техничко-экономическое обоснование системы фасадного утепления зданий серии ИИ-04 // Современное промышленное и гражданское строительство. 2017. №4. Т. 13. С. 179 – 187.

References

1. Ivanova St. Generalized criteria of energy performance evaluation in early design stages of nearly zero-energy buildings. International Scientific and Practical Conference "WORLD SCIENCE". 2016. 1 (2-6). P. 22 – 28.
2. Kornienko S.V., Popova E.D. «Zelenoe» stroitel'stvo v Rossii i za rubezhom. Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2017. 4 (55). P. 67 – 93. (rus.)
3. Alekseenko V.N., CHepurnaya E.A. Osobennosti kapital'nogo remonta i rekonstrukcii ob"ektov obrazovaniya Respubliki Krym. Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. 2016. 2 (2). P. 1 – 8. (rus.)
4. Spirin A.V., Grishina A.S. Uteplenie naruzhnyh sten pri rekonstrukcii kirpichnyh zdaniy. Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika. 2016. 1. P. 54 – 61. (rus.)
5. Thorsell T., Bomberg M. Integrated methodology for evaluation of energy performance of the building enclosures: part 3 – uncertainty of thermal measurements. Journal of Building Physics. 2011. 35. P. 83 – 96.
6. Nemova D.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S., Kashabin A.V. i dr. Tekhniko-ehkonomicheskoe obosnovanie meropriyatij po uteplenyu ograzhdayushchih konstrukcij individual'nogo zhilogo doma. Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij. 2014. 8 (23). P. 93 – 115. (rus.)
7. Kennedy S.D., Vangeem M.G., Lawrence T., Lord R. Energy Efficiency: Building on Standard 90.1. ASHRAE Journal. 2010. 52 (6). P. 22 – 28.
8. Russian Building Code SP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy. M.: Ministerstvo regional'nogo razvitiya RF, 2012. 82 p. (rus.)
9. Overchenko M.V. Analiz vlazhnostnogo sostoyaniya ograzhdayushchih konstrukcij obrazovatel'nyh uchrezhdenij. Opyt proshlogo – vzglyad v budushchee: 8-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenykh i studentov / pod obshchej redakciej doktora tekhn. nauk, prof. R.A. Kovaleva: materialy konferencii. Tula: Izd-vo TulGU, 2018. P. 170 – 174. (rus.)
10. Frey P.J., George P.L. Mesh Generation: Application to Finite Elements. ISTN Publishing Company, 2000. 814 p.
11. Miranville F., Fakra A.H., Gnichard S. Evaluation of the thermal resistance of a roof-mounted multi-reflective radiant barrier for tropical and humid conditions: Experimental study from field measurements. Energy and Buildings. 2012. 48. P. 79 – 90.
12. Barrios G., Huelsz G., Rechtman R., Rojas J. Wall/roof thermal performance differences between air-conditioned and non-air-conditioned rooms. Energy and Buildings. 2011. 43 (1). P. 219 – 223.
13. Gagarin V.G., Kozlov V.V., Mekhnecov I.A. Prodol'naya fil'traciya vozduha v sovremennyh ograzhdayushchih konstrukciyah. AVOK. 2005. 8. P.60 – 63. (rus.)
14. Belous A.N., Novikov B.A., Belous O.E. Tekhniko-ehkonomicheskoe obosnovanie sistemy fasadnogo utepleniya zdaniy serii II-04. Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2017. 4 (13). P.179 – 187. (rus.)

**Overchenko M.V., Postgraduate,
Belous A.N. *, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Donetsk People's Republic**
*Corresponding author E-mail: belous.an@yandex.ru

ANALYSIS OF THE FACTORS INFLUENCING THE CHOICE OF INSULATION SYSTEMS OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Abstract: the article raises the problem of improving the energy efficiency of buildings in operation with a constant increase in energy prices, which is now becoming increasingly important. The analysis of the design decisions of the buildings of educational institutions of Donetsk region was carried out; the main typical series of the region were highlighted and given. The issues and the factors affecting the heat and moisture characteristics of enclosing structures of educational institutions were discussed. The values of resistance to heat transfer for the most common standard series of secondary schools are given. The modeling of temperature fields of nodes of public buildings of standard series was made. The most unfavorable design solutions of serial buildings were identified by the following factors: the temperature of the inner surface of the outer enclosures and the temperature difference between the average temperature at the surface and the air temperature in the room. Possible ways of thermo-modernization of such buildings with consideration of the requirements for temperature and breathability are considered. The influence of heat-conducting inclusions on the heat-moisture regime of external enclosing structures during partial and full thermal modernization is estimated. The analysis of various methods and ways of warming the buildings of educational institutions are performed. The advantages and disadvantages of the proposed options from an economic point of view are indicated, as well as on the basis of the requirements of fire regulations.

Keywords: heat and moisture regime; heat transfer inclusions; energy efficiency; thermomodernization

Для цитирования: Оверченко М.В., Белоус А.Н. Анализ факторов, влияющих на выбор систем утепления образовательных учреждений // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №1. С. 24 – 31. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-24-31

For citation: Overchenko M.V., Belous A.N. Analysis of factors influencing the choice of insulation systems of educational institutions. Construction Materials and Products. 2019. 2 (1). P. 24 – 31. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-24-31

Поступила в редакцию 5 октября 2018 г.

Принята в доработанном виде 8 января 2019 г.

Одобрена для публикации 10 февраль 2019 г.

Received: October 5, 2018.

Revised: January 8, 2019.

Accepted: February 10, 2019.