

УДК 699.86

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО СЛОЯ  
НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УТЕПЛЕННОЙ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ**

*канд. техн. наук, проф. В.Н. ЧЕРНОИВАН, канд. техн. наук, доц. Н.В. ЧЕРНОИВАН  
канд. техн. наук, доц. В.Г. НОВОСЕЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, доц. А.В. ТОРХОВА  
(Брестский государственный технический университет)*

*Приведены результаты натурных исследований технического состояния утепленных кирпичных стен эксплуатируемых жилых зданий. Анализ результатов выполненных исследований позволил сделать вывод, что после 5–8 лет эксплуатации жилых зданий, сопротивление теплопередаче наружных утепленных стен снижается. Наиболее существенное снижение теплотехнических характеристик имеет место при использовании плитного ПСБС. Установлено, что основной причиной этого является существенное увлажнение материалов, входящих в утепленную кирпичную кладку. Анализ результатов исследований позволяет сделать вывод, что основными факторами, которые оказывают существенное влияние на динамику накопления влаги в материалах стен, являются: коэффициент проницаемости конструкции стены парами воздуха и толщина ее поперечного сечения. По результатам выполненных исследований даны рекомендации по обеспечению теплотехнических характеристик утепленных кирпичных стен эксплуатируемых жилых зданий.*

**Ключевые слова:** *тепловая изоляция, кирпичная стена, жилое здание, сопротивление паропроонианию, сопротивление теплопередаче.*

**Введение.** В 1998 году в Республике Беларусь при проектировании зданий и сооружений для наружных стен из штучных материалов (кирпич, шлакоблоки и т.п.) было рекомендовано нормативное сопротивление теплопередаче ( $R_{т\text{ норм}}$ ) принимать не менее  $2,0 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ .

Для снижения энергопотребления ранее построенных жилых зданий, у которых фактическое сопротивление теплопередаче кирпичной кладки наружных стен составляет  $0,87 \dots 1,05 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ , в 2003 г. была разработана государственная программа по повышению эффективности эксплуатации жилищного фонда, предусматривающая выполнение тепловой модернизации 3350 тыс.  $\text{м}^2$  фасадов до 2016 г. [1].

Экспертный совет Государственного комитета Республики Беларусь по энергосбережению и энергонадзору рекомендовал для решения государственной программы тепловой модернизации эксплуатируемого жилищного фонда массовое применение отечественной (белорусской) системы утепления стен «Термошуба».

Основное достоинство конструктивного решения системы утепления «Термошуба», по мнению разработчиков, – замена импортных теплоизоляционных плит на основе базальтового волокна и стекловолокна недорогим отечественным беспрессовым плитным пенополистирольным утеплителем марки ПСБС, что позволяло снизить стоимость системы утепления не менее чем на 20% и содействовало процессу импортозамещения материалов [2].

Однако, как показала практика, уже после 3-х лет эксплуатации в жилых помещениях кирпичных зданий, наружные стены которых утеплены плитным пенопластом марки ПСБС, сопротивление теплопередаче утепленной кирпичной стены снизилось более чем на 30% по сравнению с расчетным значением [3–5]. Исследования показали [3; 16], что при утеплении кирпичных стен минераловатными плитами фактическое термическое сопротивление теплопередаче кирпичных стен эксплуатируемого в течение восьми лет после тепловой реабилитации здания составляет не менее 90% от  $R_{расч}$ .

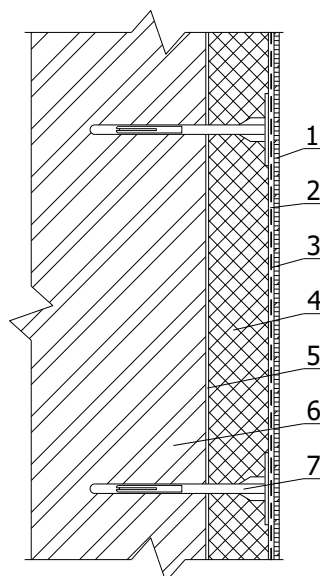
Анализ конструктивного решения системы утепления «Термошуба» позволяет, с учетом терминологии [7], сделать вывод, что она является аналогом легкой штукатурной системы (рисунок 1).

Следует отметить, что легкая штукатурная система уже более 40 лет применяется за рубежом как для тепловой реабилитации эксплуатируемых зданий и сооружений, так и при возведении новых объектов различного назначения [8]. В качестве слоя теплоизоляции в этих системах утепления за рубежом массово применяются негорючие волокнистые плитные утеплители – «Paroc» и Isover».

В виду того, что плитный пенополистирол (беспрессовый, прессовый и экструдированный) относится к горючим материалам, применение его для утепления ограждающих конструкций за рубежом запрещено.

В открытой печати отсутствует информация, что в процессе эксплуатации зданий с наружными стенами, утепленными способом легкая штукатурная система с применением плитных утеплителей «Paroc» и «Isover», имеет место снижение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

Учитывая изложенное выше, отсутствие результатов научных исследований по данной проблеме в открытой печати, а также важность задачи энергосбережения в строительстве, можно сделать вывод: исследования по оценке эффективности эксплуатационных характеристик теплоизоляции стен, утепленных способом легкая штукатурная система, актуальны, и их результаты будут востребованы на стадии проектирования систем утепления ограждающих конструкций.



1 – декоративно-защитный слой; 2 – армирующий слой; 3 – армирующий материал;  
4 – теплоизоляционный слой (плиты ПСБС); 5 – клеевой слой; 6 – подоснова (утепляемая стена);  
7 – анкерное бесшарнирное устройство

Рисунок 1. – Конструктивное решение легкой штукатурной системы

В процессе эксплуатации конструктивные элементы легкой штукатурной системы утепления систематически подвергаются климатическим и эксплуатационным воздействиям, которые описываются по закону случайного распределения и смоделировать их в лабораторных условиях в настоящее время практически невозможно [3–6.]. Исследования, выполненные Л.О. Лепарским и А.К. Цветковым, показали, что смоделировать их нельзя также силовыми и циклическими нагрузками [9]. Объясняется это тем, что механизм разрушения полимеров (минвата, пенопласт) при воздействии влаги или температуры, а тем более при их совместном действии (что имеет место в реальных условиях эксплуатации) на стесненный образец не однозначен воздействию циклической нагрузки на образец с постоянной влажностью. В связи с этим можно сделать следующий вывод: на сегодня достоверная информация об эксплуатационных характеристиках стен, утепленных способом легкая штукатурная система, может быть получена только по результатам натурных исследований эксплуатируемых зданий и сооружений с отбором образцов материалов для лабораторных испытаний.

**Натурные исследования технического состояния утепленных наружных стен. Цели и задачи исследований.** Основная цель: получение информации о фактических численных значениях сопротивления теплопередаче кирпичных стен эксплуатируемых жилых зданий, утепленных способом легкая штукатурная система.

Для достижения поставленной цели авторами публикации решались следующие основные задачи:

- выбор объектов обследования, отвечающих целям исследований;
- разработка методики и выполнение натурных исследований по определению фактических значений сопротивления теплопередаче кирпичных стен эксплуатируемых жилых зданий, утепленных способом легкая штукатурная система;
- оценка технического состояния (влажности) строительных материалов, из которых выполнено утепленное стеновое ограждение.

**Выбор объектов исследования.** Для обеспечения корректности сравнительного анализа результатов натурных исследований по определению фактического значения сопротивления теплопередаче утепленных кирпичных стен эксплуатируемых жилых зданий при выборе объектов обследования руководствовались следующим:

- одинаковое функциональное назначение зданий;
- утепленное наружное ограждение в течение всего срока эксплуатации подвержено идентичным климатическим воздействиям;
- различия в сроках эксплуатации зданий после утепления наружных стен не велики.

Для получения объективных данных об эксплуатационных характеристиках легкой штукатурной системы при выборе объектов для проведения натурных и лабораторных исследований была выполнена следующая подготовительная работа.

На первом этапе были отобраны пятнадцать жилых кирпичных зданий, фасады которых были утеплены способом «Термошуба», и выполнен анализ следующей документации:

- проектно-сметной;
- проекта производства работ;
- сертификатов на плитный утеплитель;
- акты на скрытые работы на этапах операционного и приемочного контроля качества выполненных работ.

По итогам работы с документацией непосредственно для проведения натурных исследований было выбрано шесть жилых кирпичных домов в г. Бресте, срок эксплуатации которых после утепления составлял от 6 до 10 лет.

На втором этапе для оценки фактического технического состояния плитных утеплителей (пенопласт марки ПСБС и минвата марки «Белтеп») было проведено общее обследование (со вскрытием участков наружного стенового ограждения) технического состояния конструктивных слоев наружного утепленного ограждения всех шести жилых зданий.

Результаты вскрытия стен показали, что на ряде зданий (дома № 64 и 66 просп. П.М. Машерова), теплоизоляция (плиты ПСБС) имеет следующий дефект: плитный утеплитель разрушился и представляет собой отдельные фрагменты материала, которые в проектном положении удерживались за счет соединения с наклеенной на них армирующей стеклосеткой. Очевидно, основной причиной разрушения плит пенополистирола является наличие паропроницаемой штукатурки, что привело к деструкции материала утеплителя [10].

Визуальный осмотр минераловатных плит на всех обследованных жилых зданиях позволяет оценить их техническое состояние как «хорошее».

По результатам анализа общего обследования технического состояния материала плитных утеплителей для проведения дальнейших исследований были выбраны два жилых дома в г. Бресте по адресу: ул. Брестских дивизий № 15 и № 17.

Дом № 15. Стены толщиной 670 мм выполнены из керамического кирпича полнотелого. Утеплитель – плиты марки ПСБС, толщина плиты – 50 мм.

Дом № 17. Стены толщиной 510 мм (внутренняя верста – щелевой керамический кирпич, наружная верста – силикатный кирпич). Утеплитель – плиты минераловатные «Isover», толщина плиты – 50 мм.

Натурные исследования по определению фактических численных значений термического сопротивления теплопередаче наружных утепленных стен выполнялись по следующей методике. С помощью тепловизора марки Testo 882 фиксировалось распределение температурного поля на внутренней и наружной поверхности стен здания. Температура и влажность воздуха в помещениях и на улице замерялись портативным метеометром марки МЭС-200А.

Согласно расчетам [11] с использованием данных натурных исследований получены следующие значения фактического сопротивления теплопередаче стен:

- дом № 15 –  $R_{факт.} = 1,55 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ ;
- дом № 17 –  $R_{факт.} = 1,75 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ .

Выполненные по методике [11] поверочные теплотехнические расчеты дали следующие значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций:

- дом № 15 –  $R_{м. расч.} = 2,2 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ ;
- дом № 17 –  $R_{м. расч.} = 1,9 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ .

Лабораторные исследования по определению фактического значения весовой влажности материалов, составляющих утепленные стены, выполнялись согласно действующим нормативным документам: [12; 13]. По результатам выполненных лабораторных исследований проб материалов, взятых из утепленных стен, установлена фактическая величина весовой влажности:

- беспрессовый пенополистирольный пенопласт – 7,8...20,8%;
- минераловатные плиты – 1...2,8%;
- кирпич керамический полнотелый – 3,9...10,7%;
- кирпич силикатный – 1...1,7%.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Использование в легкой штукатурной системе «Термошуба» плитного пенопласта марки ПСБС для утепления кирпичных стен (дом № 15) привело к увеличению фактической влажности материалов по сравнению с расчетным массовым отношением влаги в материале, установленным [11]:

- кирпич керамический – более чем в 2–5 раз;
- плитный утеплитель марки ПСБС – более чем в 2 раза.

Фактическое сопротивление теплопередаче кирпичных стен жилого здания (дом № 15), эксплуатируемого после тепловой реабилитации фасада около шести лет, составляет  $R_{факт.} = 1,55 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ , что составляет немногим более 70% от расчетного значения  $R_{расч.} = 2,2 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ .

Зафиксированная влажность материалов утепленной кладки, выполненной с применением плитного утеплителя из минераловатных плит марки «Белтеп», изготовленных из каменной ваты (дом №17), не превышает значения, установленные [11].

Фактическое сопротивление теплопередаче кирпичных стен жилого здания (дом № 17), эксплуатируемого после тепловой реабилитации фасада более девяти лет, составляет  $R_{факт.} = 1,75 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ , что почти 92% от расчетного значения  $R_{расч.} = 1,9 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ .

Анализ выполненных исследований подтверждает, что чем больше влажность материала, тем выше коэффициент его теплопроводности. ( $\lambda$ ) [14] и, как следствие, ниже сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций. Объясняется это тем, что во влажном материале пустоты заполнены водой, и это увеличивает его теплопроводность, поскольку  $\lambda$  воды примерно в 20 раз больше  $\lambda$  воздуха [14].

В связи с этим в нормативных документах [11, приложение А, табл. А.1] приведенные значения коэффициента теплопроводности материала соотнесены с его влажностью.

Основываясь на исследованиях, выполненных Б.Ф. Васильевым [15], можно сделать предварительный вывод, что основной причиной увлажнения конструктивных слоев утепленных стен является постоянное накопление влаги в наружном ограждении за счет поступления в него пара воздуха эксплуатируемых отапливаемых помещений. Такое значительное накопление влаги в материалах стен за относительно короткий период эксплуатации утепленного фасада, очевидно, обусловлено следующими физическими процессами:

- значительной разностью парциальных давлений водяного пара, содержащегося в воздухе помещений и в наружном воздухе в зимнее время, а также отсутствием механической вентиляции и наличие стеклопакетов;
- не возможностью обеспечить в теплое время года уход влаги из стены наружу (просушивание конструкции).

Результаты исследований [15; 16] показали, что основными факторами, которые оказывают существенное влияние на динамику накопления влаги в материалах стен, являются: коэффициент проницаемости конструкции стены парами воздуха и толщина поперечного сечения ограждающей конструкции.

Следует отметить, что [7] также рекомендует учитывать сопротивление паропрооницанию как один из основных параметров, позволяющих обеспечить эксплуатационные характеристики утепленных стен зданий и сооружений.

Согласно [11] сопротивление паропрооницанию слоя ограждающей конструкции ( $R_n$ ,  $\text{м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} / \text{кг}$ ) рассчитывается по следующей формуле:

$$R_n = \frac{\delta}{\mu} \quad (1)$$

где  $\delta$  – толщина слоя материала стены, м;

$\mu$  – расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоя ограждающей конструкции,  $\text{мг} / (\text{м} \times \text{ч} \times \text{Па})$ .

В нормативной литературе отсутствуют рекомендации по величине сопротивления паропрооницанию утепленных стен, позволяющие обеспечить влажность материалов утепленной кладки в процессе всего срока эксплуатации здания без превышения значений, установленных [11].

Как было отмечено ранее, накопление влаги в материалах стен является многофакторным физическим процессом, на который влияют как микроклимат в эксплуатируемых помещениях, так и климатические условия, в которых эксплуатируется здание [15; 16].

С учетом вышеизложенного, авторы публикации предлагают ввести термин «эксплуатационное сопротивление паропрооницанию утепленных стен». Этому термину соответствует следующее определение. Сопротивление паропрооницанию утепленных стен, обеспечивающее влажность материалов ограждающей конструкции в процессе всего срока эксплуатации здания, без превышения значений, установленных [11].

Очевидно, что конкретные численные значения эксплуатационного сопротивления паропрооницанию утепленных стен можно рекомендовать только для зданий, ограждающие конструкции которых в течение всего срока эксплуатации подвержены идентичным климатическим воздействиям и имеют аналогичные характеристики микроклимата в помещениях.

Для определения конкретных численных значений эксплуатационного сопротивления паропрооницанию, которые можно рекомендовать при проектировании утепленных стен, предлагается следующая методика.

В качестве базового значения сопротивления паропрооницанию предлагается принять конструкцию не утепленной кирпичной кладки толщиной 510 мм, состоящую: внутренняя верста 380 мм – щелевой кирпич; наружная верста 120 мм – силикатный кирпич; слой внутренней штукатурки – 25 мм. Сопротивление паропрооницанию такой стены составляет  $R_n = 3,7 \text{ м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} / \text{кг}$ . Практика эксплуатации жилых зданий с не утепленными стенами и оконным заполнением из двухстворчатых деревянных рам показала, что микроклимат (влажность воздуха) в помещениях соответствовал санитарным нормам без устройства механической вентиляции.

Выполненные для проведения сравнительного анализа расчеты сопротивления паропрооницанию конструктивных решений утепленных кирпичных стен дали следующие результаты:

- стена толщиной 510 мм (380 мм – щелевой кирпич + 120 мм силикатный кирпич + слой штукатурки + 100 мм ПСБС),  $R_n = 5,2 \text{ м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} / \text{кг}$ ;
- стена толщиной 510 мм (380 мм – щелевой кирпич + 120 мм силикатный кирпич + слой штукатурки + 100 мм минвата «Белтеп»),  $R_n = 3,9 \text{ м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} / \text{кг}$ .

Следовательно, основной причиной столь значительного увлажнения материалов, составляющих наружное кирпичное стеновое ограждение, утепленное ПСБС, является фактическое сопротивление паропрооницанию конструкции стены в целом равное:  $R_{n \text{ факт.}} = 5,2 \text{ м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} / \text{кг}$ . Для сравнения: для аналогичной по теплотехническим характеристикам и конструктивному решению кирпичной стены, утепленной минераловатными плитами,  $R_{n \text{ минвата}} = 3,9 \text{ м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} / \text{кг}$ , что в 1,3 раза меньше, чем утепленная ПСБС.

**Заключение.** Анализ результатов выполненных исследований по оценке эксплуатационных характеристик тепловой изоляции стен, утепленных способом легкая штукатурная система, публикации, подтверждающие снижение теплозащитных качеств полимеров (плитный пенополистирол) в результате их длительной эксплуатации [11–17], позволяют сделать следующие выводы.

1. Для обеспечения требуемых теплотехнических характеристик утепленных стен кирпичных жилых зданий на протяжении всего периода эксплуатации без устройства систем механической вентиляции сопротивление паропрооницанию утепленного наружного стенового ограждения для климатического района Республики Беларусь должно соответствовать следующему требованию:  $R_n \leq 3,7 \text{ м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} / \text{кг}$ .

2. При проектировании утепленных наружных стен жилых кирпичных зданий для обеспечения влажности материалов кладки в процессе всего срока эксплуатации здания, без превышения значений, установленных [11], рекомендуется:

- для уменьшения толщины кирпичной кладки выполнять ее из полнотелого керамического кирпича на цементном растворе с учетом расчетов, выполненных согласно [17];
- в качестве утеплителя применять плитные материалы, коэффициент паропроницаемости ( $\mu$ ) которых при расчетной толщине слоя теплоизоляции по теплотехническим требованиям позволяет обеспечить сопротивление паропроницанию утепленного наружного стенового ограждения не выше  $3,7 \text{ м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па} / \text{мг}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О мерах по повышению эффективности эксплуатации жилищного фонда, объектов коммунального и социально-культурного назначения и защите прав потребителей коммунальных услуг : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 17 янв. 2003 г., №45 // Национальный реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2003. – № 5/11814.
2. Типовая техническая карта по устройству тепловой изоляции наружных стен зданий методом «Термошуба» : утв. Минстройархитектуры.
3. Черноиван, В.Н. Техническое состояние конструктивных слоев утепленных наружных стен эксплуатируемых зданий / В.Н. Черноиван, В.Г. Новосельцев, Н.В. Черноиван // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 4. – С. 48–51.
4. Пастушков, П.П. Натурные исследования теплофизических характеристик теплоизоляционных материалов в составе фасадных систем / П.П. Пастушков, Н.В. Павленко, А.В. Жеребцов // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 12. – С. 56–60.
5. Крышов, С.И. Проблемы экспертной оценки тепловой защиты зданий / С.И. Крышов, И.С. Курилюк // Жилищное строительство. – 2016. – № 7. – С. 3–5.
6. Ярцев, В.П. Влияние внешних воздействий на теплофизические и длительные механические свойства минераловатных плит / В.П. Ярцев, А.А. Мамонтов, С.А. Мамонтов // Вопросы современной науки и практики. – 2014. – № 1 (50). – С. 125–134.
7. Тепловая изоляция зданий и сооружений : СП 3.02-01-2020 : утв. постановлением М-ва архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 06.10.20 № 61. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 45 с.
8. Монастырев, П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий : учеб. пособие / П.В. Монастырев. – М. : АСВ, 2002. – 160 с.
9. Цветков, А.К. Исследование влияния температурно-влажностных воздействий на изменение внутренних напряжений в клееных деревянных конструкциях : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / А.К. Цветков. – М., 1977. – 163 л.
10. Ананьев, А.А. Долговечность и теплозащитное качество наружных ограждающих конструкций, утепленных пенополистиролом / А.А. Ананьев, А.И. Ананьев, Т.Н. Голева // Актуальные проблемы строительной теплофизики : материалы VII научно-практической конференции / НИИСФ. – М., 2002. – С. 15–18.
11. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования : СП 2.04-01-2020 : утв. постановлением М-ва архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 18.11.20 № 93. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 72 с.
12. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения и контроля морозостойкости : ГОСТ 7025. – Взамен ГОСТ 7025-78, ГОСТ 6427-75 ; введ. 01.07.91. – М. : Гос. строит. комитет СССР, 1991. – 17 с.
13. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний : ГОСТ 17177-94. – Взамен ГОСТ 17177-87 ; введ. 01.04.96. – Минск : Минстройархитектуры, 1996. – 56 с.
14. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин ; под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – 5-е изд., пересм. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
15. Васильев, Б.Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий / Б.Ф. Васильев. – М. : Госстройиздат, 1957. – 210 с.
16. Гагарин, В.Г. Сорбция водяного пара материалами минераловатных изделий современного производства / В.Г. Гагарин, П.П. Пастушков // Строительные материалы. – 2019. – № 6. – С. 40–43.
17. Каменные и армокаменные конструкции : СП 5.02-01-2021 : утв. постановлением М-ва архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 01.04.21 № 28. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 115 с.

Поступила 22.09.2021

#### ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE THERMAL INSULATION LAYER MATERIAL ON THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF INSULATED BRICKWORK

V. CHERNOIVAN, N. CHERNOIVAN, V. NOVOSSELCEV, A. TORHOVA

*The results of field studies of the technical condition of insulated brick walls of used residential buildings are presented. Analysis of the results of the research made it possible to conclude that after 5–8 years of operation of residential buildings, the heat transfer resistance of external insulated walls decreases. The most significant reduction in thermal characteristics occurs when using a plate PFEP. It is established that the main reason for this is a significant moisture content of the materials included in the insulated brickwork. Analysis of the research results allows us to conclude that the main factors that have a significant impact on the dynamics of moisture accumulation in wall materials are: the coefficient of permeability of the wall structure by air vapor and the thickness of its cross-section. Based on the results of the research, recommendations are given to ensure the thermal characteristics of insulated brick walls of residential buildings in use.*

**Keywords:** thermal insulation, brick wall, residential building, vapor permeability resistance, heat transfer resistance.