

Таблица 4. Расчетные и экспериментальные усилия в затяжках

Номер индикатора на затяжке	Сечение	А, см <sup>2</sup>	Δl, мм	База тензометра, мм	Усилие, кН		Разница, %
					Теоретическое	Экспериментальное	
1	тр.127x8	29.91	0.038	274	120.7	85.5	29.16
2	тр.127x8	29.91	0.025	275	104.3	56	46.31
3	тр.127x8	29.91	0.031	275	122.5	69.5	43.27
4	тр.127x8	29.91	0.03	276	121	67	44.63

свободных опорных узлов в направлении вдоль затяжки моделировалась с помощью специального конечного элемента, моделирующего упругую связь между узлами. Граничные условия представлены закреплением от смещений и поворотов нижних узлов колонн.

Результаты измерений усилий после приложения испытательной нагрузки в стержнях структуры и затяжках, а также результаты, полученные для расчетной модели в программном комплексе "Lira Windows", приведены в табл. 1 – 4. Результаты натурных измерений вертикальных перемещений структуры и теоретические результаты отображены на рис. 9.

#### Выводы

Для всех стержней верхней и нижней поясной сетки, а также для затяжек наблюдается превышение теоретических усилий над экспериментальными в пределах 8,81% - 50,22%. Для раскосов наблюдается как превышение теоретических усилий над экспериментальными, так и наоборот. При этом разница в величине сравниваемых усилий достигает 78,17%. Различия в полученных экспериментальных и теоретических результатах объясняется податливостью узловых соединений при действительной работе конструкции, а также включением в совместную работу покрытия профнастила и прогонов, что

не учитывалось при моделировании нагружения структурной плиты с помощью ПК "Lira Windows".

Реальные деформации структурной плиты оказались больше теоретических в среднем в 1,3-1,6 раза. Кроме различий в величине прогибов наблюдается различие в очертаниях эпюр. При этом максимальные экспериментальные прогибы находятся не на оси симметрии, а смещены от нее к торцам плиты на две ячейки. Несоответствие теоретических и экспериментальных деформаций объясняется податливостью узловых соединений и погрешностью измерений.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.01.07-85. Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия./Госстрой СССР – М.: ЦНИИП Госстроя СССР, 1986 – 36 с.
2. Изменения №1 к СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия. Приказ министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 18 июня 2004г. №166.
3. Патент на изобретение № 2489 U "Узел соединения полых стержней пространственного каркаса", авторы: Драган В.И., Левчук А.А., Шалобыта Н.Н., Пчелин В.Н., официальный бюллетень №1.–2006.02.28.

Статья поступила в редакцию 19.01.07

УДК 69.059

Черноиван В.Н., Черноиван Н.В.

## К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛИТНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### Введение

Одним из основных потребителей топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в нашей Республике является коммунально-бытовой сектор. Ежегодно потребление энергии в жилищном фонде Республики Беларусь составляет около 12 млн. тонн условного топлива, что свыше 30% общего расхода на нужды народного хозяйства Республики. Основная доля расхода топлива в жилищном фонде приходится на отопление существующих зданий [4]. В связи с этим, в энергосбережении большое значение отводится повышению теплозащиты ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий. На период с 2007 по 2015 гг. в Республике Беларусь предусмотрено выполнить тепловую модернизацию 1675 домов общей площадью 6 млн.365 тыс. м<sup>2</sup>. Выполнение намеченных объемов работ планируется осуществить в основном за счет применения способа штукатурки по слою теплоизоляции: «Термошуба», «Радекс» и др.[3].

Однако в сложившейся ситуации (существенный рост цен

на энергоносители на 2007 год и запланированное ежегодное увеличение стоимости природного газа и нефти, поставляемых в Республику Беларусь из России) решить проблему тепловой модернизации эксплуатируемых зданий, ориентируясь только на утепление стен способом штукатурки по слою теплоизоляции, экономически невыгодно, ввиду следующего:

- высокой стоимости (около 30 у.е. за 1 м<sup>2</sup>);
- трудозатраты на 1 м<sup>2</sup> составляют около 5 чел.-час.;
- модернизация утепления стен в случае пересмотра нормируемой величины теплозащиты стенового ограждения в сторону увеличения - для данной системы невозможна;
- для поддержания качественных параметров воздуха в помещениях, утепленных по данному способу, необходима установка системы принудительной вентиляции [8].

Следует отметить, что в странах Западной Европы уже произошло резкое снижение (до 45%) объемов работ утепления стен способом штукатурки по слою теплоизоляции и замена их на менее материалоемкие и трудозатратные - обли-

**Черноиван Вячеслав Николаевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

**Черноиван Николай Вячеславович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

цовка из защитно-декоративных панелей [9].

Массовое применение утепления стен способом облицовки из защитно-декоративных панелей в Республике Беларусь по экономическим соображениям не представляется возможным, так как потребуется закупка за рубежом всех строительных материалов и технологического оборудования.

Авторами статьи разработано конструктивное решение утепления стен «Термический экран» (рис. 1), в котором, как и способе «облицовка из защитно-декоративных панелей», отсутствует защитный штукатурный слой. Кроме того, в предлагаемом решении, вместо крепления плитного утеплителя к стене дюбелями-анкерами, осуществляется его навеска с использованием стеклопластиковых анкеров-кронштейнов (4), что обеспечивает создание воздушной прослойки (5) между внутренней поверхностью плитного утеплителя и наружной поверхностью стены.

Наличие воздушной прослойки позволяет:

- увеличить термическое сопротивление теплопередачи системы «Термический экран» почти на 15% по сравнению с известными системами;
- обеспечить требуемое сопротивление паропроницанию утепляемых наружных стен, что позволяет поддерживать качественные параметры воздуха (в первую очередь нормальную влажность) в помещениях утепленного здания без устройства системы принудительной вентиляции.

Система «Термический экран» ориентирована на использование плитных утеплителей отечественного производства: в первую очередь - минераловатных плит «Белтеп», выпускаемых ОАО «Гомельстройматериалы», а также - плит пенополистирольных типа ПСБ - С (ГОСТ 15588 - 86), что позволяет наряду со снижением стоимости утепления стен эксплуатируемых зданий полностью исключить зависимость от зарубежных поставщиков.

Основным отличием эксплуатации плитного утеплителя в системе утепления наружных стен «Термический экран» от известных систем [9] является то, что он – *конструктивный элемент*, который воспринимает следующие силовые воздействия:

- постоянные (собственная масса конструкции);
- кратковременные (ветровая нагрузка).

Следовательно, для эффективной эксплуатации конструкции тепловой изоляции «Термический экран» необходимо разработать методику ее прочностного расчета.

#### Основные положения методики прочностного расчета

На сегодня разработана методика прочностного расчета легкой штукатурной системы утепления «Термошуба», являющейся одним из вариантов конструктивного решения «способ штукатурки по слою теплоизоляции» [1].

С учетом действительной работы системы утепления «Термошуба», методика [1] предусматривает: расчет на прочность и образование трещин при растяжении, изгибе и отрыве от плитного теплоизоляционного материала армированных и декоративно-защитных слоев. Учитывая специфику работы легкой штукатурной системы «Термошуба», выполнены исследования системы утепления на ударостойкость и на продергивание дюбелей [4].

Методика прочностного расчета [1] ориентирована на использование следующих материалов: минераловатные плиты «PAROC» и «ROCRWOOL»; пенополистирольные плиты; блоки из пеностекла; полимерные клеи. Все требуемые для прочностного расчета характеристики вышеперечисленных материалов получены УП «Институт НИПТИС» и БНТУ, при испытаниях образцов, изготовленных из утеплителя, *хранящегося в закрытых теплых складах* [5]. Такой подход к методике определения прочностных и деформационных характеристик теплоизоляционных материалов является вполне корректным, так как он отражает реальные условия эксплуатации

плитных утеплителей в конструктивном решении утепления стен «способ штукатурки по слою теплоизоляции».

Предлагаемая система утепления наружных стен «Термический экран» (см. рис.1.) имеет целый ряд существенных конструктивных отличий от «Термошубы».

Во-первых, в ней отсутствуют:

- защитный слой (штукатурка по сетке) плитного утеплителя;
- клеевое соединение и дюбели-анкеры, обеспечивающие крепления плитного теплоизоляционного материала к поверхности, утепляемой стены.

Во-вторых, плитный утеплитель, в предлагаемой системе, является несущим конструктивным элементом, воспринимающим:

- постоянные силовые воздействия (собственная масса конструкции);
- кратковременные (циклические) силовые воздействия (ветровая нагрузка).

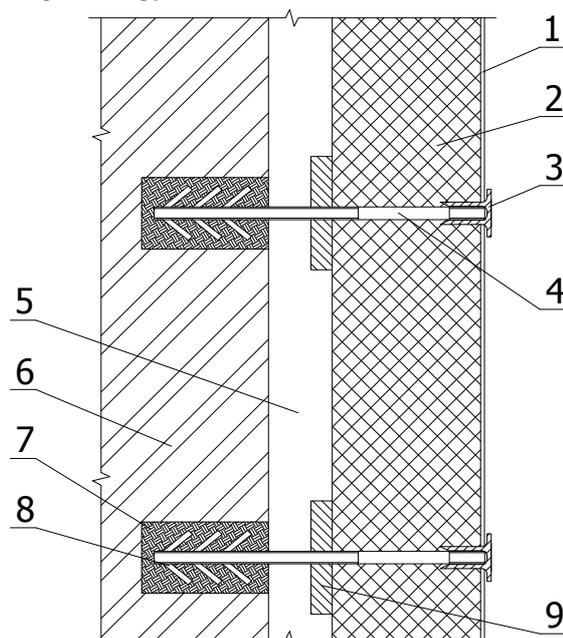


Рис. 1. Конструктивное решение системы утепления стен «Термический экран»: 1 – защитное покрытие; 2 – теплоизоляционный слой из плитного утеплителя; 3 – полиэтиленовая втулка-заглушка; 4 – стеклопластиковый анкер-кронштейн; 5 – воздушная прослойка (толщиной до 300 мм); 6 – утепляемая стена; 7 – цементно-песчаный раствор; 8 – анкерочная шайба; 9 – установочная шайба-ограничитель

На основании выше изложенного, можно сделать вывод: применить методику прочностного расчета [1] для системы утепления стен «Термический экран» не представляется возможным.

Основным конструктивным элементом системы утепления наружных стен «Термический экран» является плитный утеплитель – минераловатные плиты «Белтеп» и плиты пенополистирольные типа ПСБ - С (ГОСТ 15588 - 86).

В связи с этим можно сделать вывод: определяющим в обеспечении нормальной эксплуатации системы «Термический экран» является несущая способность материала плитного утеплителя.

Следовательно, прочностной расчет системы «Термический экран» возможен только при наличии *требуемых* прочностных и упругих характеристик материала плитного утеплителя.

Для получения реальной картины работы теплоизоляционного слоя в системе «Термический экран» проанализируем

напряженно-деформированное состояние материала плитного утеплителя.

Конструктивная схема (см. рис. 1) и условия эксплуатации плитного утеплителя позволяют рассматривать работу теплоизоляционного материала как несущий элемент, воспринимающий следующие нагрузки:

- 1) постоянную (собственный вес конструкции);
- 2) кратковременную (ветровая нагрузка).

Проанализируем работу материала плитного утеплителя в конструкции «Термический экран» от действия выше перечисленных нагрузок.

Постоянная нагрузка (собственный вес конструкции) создает в материале плитного утеплителя на участках его контакта с анкерами-кронштейнами (шулками-заглушками) напряженное состояние местное смятие (рис. 2).

Ветровая нагрузка создает в материале плитного утеплителя:

а) в пролете между опорами (шайбами-ограничителями) - напряженное состояние изгиб;

б) в местах контакта с шайбами-ограничителями - напряженное состояние смятие на участке длины (см. рис.2).

Наряду с постоянной и кратковременной нагрузками на материал плитного утеплителя в течение всего срока его эксплуатации будут действовать следующие атмосферные воздействия:

- температурные климатические;
- изменение влажности воздуха.

Температурные климатические воздействия – это солнечная радиация и изменение температуры наружного воздуха.

Рассмотрим влияние отдельно каждого из этих воздействий на эксплуатационные характеристики материала утеплителя.

Солнечная радиация - это непосредственное попадание солнечных лучей на поверхность материала плитного утеплителя.

массы конструкции).

Последствия ее воздействия:

- появление дополнительных (циклических) напряжений, величина которых зависит от значения коэффициента теплового линейного расширения ( $\alpha$ ) материала;
- деструкция (старение) полимеров, что приводит к ухудшению физико-механических характеристик материала.

Изменение температуры наружного воздуха носит циклический характер и может привести в результате замораживания-оттаивания переувлажненного материала плитного утеплителя к появлению:

- дополнительных напряжений;
- к ухудшению физико-механических характеристик материала.

Изменение влажности воздуха при отсутствии эффективной защиты плитного утеплителя может привести к увлажнению материала, что негативно скажется на теплотехнических и физико-механических характеристиках материала.

Как показывает практика эксплуатации навесных слоистых панелей с теплоизоляционным слоем из плитных утеплителей [10], а также исследования физико-механических характеристик строительных пенопластов, выполненные ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ЛенЗНИИЭП, СибЗНИИЭП и др. [2] на прочностные и упругие характеристики полимеров существенное негативное влияние оказывают: солнечная радиация, циклические приложения усилий (ветер, температура), периодичное увлажнение (увлажнение - высушивание).

Теплоизоляционные минераловатные плиты марки «Белтеп» начали выпускаться в промышленных объемах в ОАО «Гомельстройматериалы» в середине 2006 года. В открытой печати информация о влиянии атмосферных воздействий на эксплуатационные характеристики минераловатных плит марки «Белтеп» – отсутствует.

Следовательно, для получения объективной оценки влияния атмосферных воздействий (в первую очередь влажности и сезонного изменения температуры наружного воздуха) на прочностные и упругие характеристики теплоизоляционных минераловатных плит марки «Белтеп» необходимо выполнить дополнительные исследования.

Учитывая, что природным температурно-влажностным характеристикам воздуха присущи значительные колебания (суточные, месячные, годовые), которые описываются по закону случайного распределения, смоделировать их в лабораторных условиях в настоящее время практически невозможно. Исследования, выполненные Лепарским Л.О. и Цветковым А.К., показали, что смоделировать их нельзя также и силовыми и циклическими нагружениями [6]. 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.

На основании изложенного можно сделать вывод, что объективную оценку влияния сезонных температурно-влажностных воздействий на физико-механические характеристики материала плитного утеплителя и его долговечность можно получить только по итогам экспонирования теплоизоляционного материала на открытом воздухе.

В связи с этим, планируется.

На первом этапе выполнить исследования прочностных и упругих характеристик материала плитных утеплителей при статическом приложении нагрузки. Для получения объективной оценки влияния атмосферных воздействий на эксплуатационные характеристики теплоизоляционных плитных материалов исследования планируется выполнять на образцах двух типов:

### Ветровая нагрузка

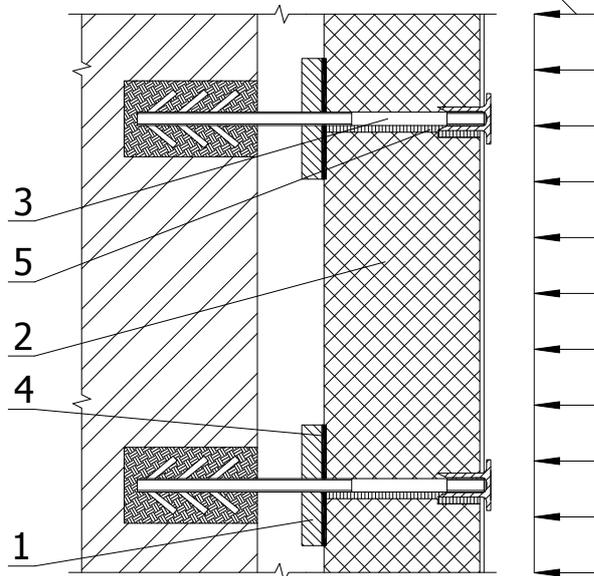


Рис. 2. Характер распределения напряжений в плитном утеплителе: 1 – установочная шайба-ограничитель; 2 – теплоизоляционный слой из плитного утеплителя; 3 – стеклопластиковый анкер-кронштейн; 4 и 5 – участки плитного утеплителя, работающие на смятие

Условные обозначения:

- – смятие материала на участке длины (от ветровой нагрузки);
- ▨ – местное смятие материала (от собственной

1-ый тип – образцы изготовлены из плитного утеплителя, постоянно хранящегося в закрытых теплых складах;

2-ой тип – образцы изготовлены из плитного утеплителя, прошедшего экспонирование на открытом воздухе.

В настоящее время разработана методика проведения исследований прочностных и упругих характеристик материала плитных утеплителей и с июля 2006 года минераловатные плиты «Белтеп» и плиты полистирольные типа ПСБ - С (ГОСТ 15588 - 86) экспонируются на открытом воздухе.

В феврале 2007 года будут выполнены исследования первой партии образцов, прошедших экспонирование на открытом воздухе в течение 6 месяцев с целью определения:

- предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе, сжатии, растяжении;
- величины условного предела прочности при местном смятии.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кузьмичев Р.В. Метод расчета прочности и деформаций легких штукатурных систем утепления // Архитектура и строительство, 2005. – №6 – с.116-117.
2. Пособие по физико-механическим характеристикам строительных пенопластов и сотовых. – М.: Стройиздат, 1977. – 79 с.
3. ПЗ-2000 к СНиП 3.03.01-87. Проектирование и устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций жилых зданий. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2000. – 86 с.

4. Кузьмичев Р.М. Высокотехнологичная энергоэффективная система утепления стен жилых зданий. Автореферат канд. дисс. – Мн.: БНТУ, 2006 – 22 с.

5. Галузо Г.С., Коваженкова В.И., Галузо О.Г., Кузьмичев Р.В. Исследование деформативных свойств минераловатных плит и полимерных клеевых составов, применяемых при тепловой изоляции наружных стен зданий // Материалы 2-1 международной науч.-техн. конф. БНТУ. - Мн.: БНТУ, 2004. – с. 432-436.

6. Цветков А.К. Исследование влияния температурно-влажностных воздействий на изменение внутренних напряжений в клееных деревянных конструкциях. Канд. дисс. – М.: ЦНИИСК, 1977. – 163 с.

7. Черноиван В.Н., Черноиван Н.В. Анализ конструктивно-технологических решений дополнительной теплозащиты стен эксплуатируемых зданий. //Вестник БГТУ. Строительство и архитектура, 2004. №1 (25). – С.34-36.

8. Потерщук В.А. Пути дальнейшего энергосбережения в жилых зданиях. Белорусский строительный рынок, 1998. – №5. – С. 2...3.

9. Монастырев П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 160 с.

10. Чистяков А.М., Климов О.И. В сб.: Влияние температурных воздействий на несущую способность слоистых панелей. – М.: Стройиздат, Труды ЦНИИСК, вып.51, 1975. – с. 93-102.

Статья поступила в редакцию 18.01.07

УДК 614.814

Якимук В.П.

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОГО ПОЖАРА

Кинетический подход к оценке огнестойкости конструкций является логическим развитием статического подхода и позволяет преодолеть теоретические трудности, характерные для статического подхода при учете фактора времени, изменчивости и сочетания нагрузок [1, 2-11, 12, 13].

Преодоление этих теоретических трудностей упрощается тем, что элементы кинетического подхода содержатся в методе предельных состояний. Это находит отражение в определенной свободе трактовки понятия "предельное состояние", которое можно истолковать как достижение к концу срока службы предельной величины меры повреждений [9].

При использовании кинетического подхода уравнение предельного равновесия также включает в себя показатели изменения прочности и деформативности материалов конструкций в рассматриваемых условиях. Однако способ описания изменения значений этих показателей основывается не на статических, а на кинетических представлениях о природе прочности, деформативности, разрушения твердых тел.

Согласно кинетической концепции прочности (ККП) [12,13], разрушение твердого тела рассматривается не как критическое событие, а как кинетический, термоактивационный процесс, развивающийся в твердом теле во времени.

Основой и содержанием ККП является понятие о "долговечности" тела  $\tau_d$ , как времени существования тела от момента приложения нагрузки до наступления того или иного предельного состояния, а также выяснение того, что происходит в напряженном теле на протяжении его долговечности [12].

В теории огнестойкости время также играет большую роль. Понятие "огнестойкости" является эквивалентом понятия "долговечности" твердого тела, отнесенного к специфическим условиям пожара. Фактически, "огнестойкость" строительной конструкции характеризует "время" ее существования от начала воздействия пожара до наступления того или иного предельного состояния, т.е. ее долговечность в условиях пожара [9,10, 13].

Общность методических и физических принципов, лежащих в основе представлений о "долговечности" и "огнестойкости" послужила основой применения ККП для оценки огнестойкости строительных материалов и конструкций [9, 10].

Возможности использования ККП в качестве физической основы более общих методов оценки огнестойкости определяются соответствием выявленных особенностей разрушения и деформирования реальных материалов строительных конструкций основным соотношениям кинетической концепции прочности.

Возможность учитывать не только температуру материала, но и длительность и интенсивность ее воздействия, т.е. всю "термическую" историю воздействия пожара достигается тем, что в математической модели, описывающей изменение характеристик прочности и деформативности материалов, время воздействия пожара вводится как равноправная независимая переменная.

Речь идет о том, что вместо однозначных зависимостей изменения сопротивления материалов в рассматриваемых условиях использовать более общие зависимости типа:

Якимук Валерий Петрович, ведущий научный сотрудник научно-практического центра Учреждения «Брестское областное управление МЧС».