

Рис. 5. Тангенциальные температурные напряжения

Равенство нулю радиальных напряжений на границе области подтверждает достоверность алгоритма (рис. 3). Тангенциальные термонапряжения меняют знаки в сечениях, где максимальные и минималь-

ные толщины. Наибольшие растягивающие напряжения возникают в точках внешнего контура в сечении по меньшей толщине.

Напряжения на внешнем контуре не имеют ярко выраженных значений, а на границе внутреннего контура достигают экстремальных значений в зонах наименьшей толщины стенки (рис. 4).

**Выводы.** В результате исследований НДС толстостенного сосуда со сложной конфигурацией установлены зоны экстремальных напряжений, что позволяет оптимизировать геометрию сечения.

Использование метода интегральных уравнений теории потенциала позволяет рассматривать не всю область сечения, а только ее границу. Сложная геометрия границы не создает трудностей при ее аппроксимации граничными элементами, что не характерно для других численных методов.

Разработанная программа существенно облегчает реализацию задач на ПЭВМ по сравнению с существующими программными пакетами МКЭ и позволяет получить более точные результаты. В то же время как недостаток следует отметить более низкий уровень сервиса при представлении результатов расчетов.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бреббия К. и др. Методы граничных элементов. – М: Мир, 1987. – 524 с.
2. Гюнтер Н.М. Теория потенциала и ее применение к основным задачам математической физики - М.: Гос. издательство технико-теорет. литературы, 1953.- 414 с.
3. Хвисевич В.М. К решению плоской краевой задачи квазистационарной термоупругости для внешней и многосвязной областей на основе теории потенциала //Теоретическая и прикладная механика: Межведомственный сборник научно-методических статей /Под. ред. академиков П.А. Витязя, М.С. Высоцкого - Мн.: БНТУ, 2007.-Выпуск 21.-С.67-71.

Материал поступил в редакцию 08.02.08

#### CHVISEVICH V.M. Account of the case a thick wall of a vessel at stationary influence of temperature

The tension of a thick-walled vessel of composite frame geometry when exposed to steady temperature is examined. The method of boundary potential theory integral equation is used to solve the given flat boundary value thermoelectricity problem. Thus, the flat boundary value problem was converted to a problem of the isothermal elastic strength theory. The integral equations of temperature stresses are deduced. The method of mechanical quadratures is applied for numerical implementation of singular integral equations of a boundary value problem. The tension of the examined area has been determined.

УДК 69.059.7

Черноуван В.Н., Черноуван Н.В.

### КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ СТЫКА ПЛИТНОГО УТЕПЛИТЕЛЯ, ВОСПРИНИМАЮЩЕГО ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМАХ ДОУТЕПЛЕНИЯ

**Введение.** Накопленный опыт эксплуатации систем утепления наружных стен зданий «вентилируемый фасад» позволил выявить наличие «мостиков холода» не только в местах установки металлических элементов крепления, но и на участках примыкания минераловатных плит друг к другу [2, 3].

Техническое состояние минераловатных плит фирм «ROCKWOOL» и «PAROC», эксплуатируемых в системе утепления наружных стен зданий «вентилируемый фасад» показало, что основной причиной появления «мостиков холода» в местах примыкания минераловатных плит друг к другу является смещение плитного утеплителя в процессе его эксплуатации и как следствие – появление воздухопроницаемых зазоров в стыках плитного утеплителя. Следовательно, для минераловатных плит, воспринимающих ветровые воздействия, решение стыка между плитами простым примыканием их друг к другу неприемлемо.

На сегодня разработаны и прошли апробацию на практике конструктивные решения двух видов стыков – закрытый и открытый, которые рекомендуется применять для бетонных защитно-декоративных панелей, используемых в качестве защитного экрана в системе утепления наружных стен зданий «вентилируемый фасад» [2, 3, 4].

Закрытый стык выполняется в виде нахлеста вышележащей панели на нижележащую с прокладкой швов поризолом и промазыванием герметизирующими мастиками. Это позволяет обеспечить герметизацию стыка.

Однако во время эксплуатации зданий, облицованных панелями с закрытым стыком, наблюдаются грязные потеки на фасадах. Это происходит из-за того, что на закрытый стык осажается пыль, которая во время дождя смывается на наружную поверхность плит.

Из-за низких эксплуатационных характеристик герметиков закрытый стык требует проведения частых ремонтов швов. А это ведет

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

Черноуван Николай Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

к увеличению эксплуатационных затрат здания.

Учитывая, что плитный утеплитель в рассматриваемой системе утепления наружных стен «вентилируемый фасад» одновременно выполняет функции теплоизоляции и облицовки фасада здания, применение закрытого стыка не желательно по указанным выше соображениям.

На основании накопленного опыта по эксплуатации зданий, облицованных панелями [2, 3], можно сделать следующий вывод: при разработке конструктивного решения стыка плитного утеплителя, воспринимающего ветровые воздействия, целесообразно принять *открытый стык*.

Однако известные конструктивные решения открытого стыка имеют существенный недостаток, они – водо- и воздухопроницаемы [3, 4]. Обеспечить герметичность открытого стыка, решенного простым примыканием теплоизоляционных плит друг к другу, в системах утепления «вентилируемый фасад» только за счет применения герметиков – практически невозможно, так как герметики не предназначены на постоянное восприятие циклических силовых воздействий.

Следовательно, для обеспечения герметичности стыков между отдельными плитами утеплителя на протяжении всего срока эксплуатации воспринимающими силовыми (ветровые) воздействия необходимо применить механические соединения в местах примыкания отдельных плит утеплителя друг к другу.

**1. Концепция конструктивного решения открытого стыка плитного утеплителя.** В Республике Беларусь аналогом минераловатных плит фирм «ROCKWOOL» и «PAROC» являются минераловатные плиты торговой марка «Белтеп» [10], производимые ОАО «Гомельстройматериалы». Выполненные исследования прочностных и упругих характеристик минераловатных плит торговой марка «Белтеп» [9] позволяют сделать заключение о целесообразности их использовать в системах утепления наружных стен зданий «вентилируемый фасад» на территории Беларуси.

Анализ литературных источников позволяет сделать вывод, что для механического соединения двух полимеров, какими являются минераловатные плиты торговой марка «Белтеп», не приемлемы традиционные способы и конструкции их стыковки [5, 7, 8]. Причиной этого является низкая прочность теплоизоляционных полимерных материалов на смятие и сжатие (особенно при армировании более прочными, чем связующее волокнами) и присущее им наличие слабых полимерных прослоек с низкой прочностью. В дополнение к этому многие полимеры имеют низкую прочность на сдвиг в плоскости армирования, существенно понижающую несущую способность механических соединений.

При вышеперечисленных недостатках полимерных материалов рекомендуется в слабонагруженных соединениях применять стандартные типы механических соединений, такие, как заклепки, болты, штифты, винты и т.д. [5].

Необходимо отметить, что такие соединения требуют особой подготовки и сборки. Например, отверстия должны изготавливаться с жесткими допусками, без заусенцев, расслоения материала. Болты и штифты должны изготавливаться также очень точно, входя в отверстия без зазора. Заклепки могут использоваться, и то с большой осторожностью, только в специальных соединениях при условии усадки их втулками или прокладками.

Выполненные предварительные исследования показали, что отверстия под штифты в торцах минераловатных плит «Белтеп» плотностью свыше 150 кг/м<sup>3</sup> можно качественно просверлить электродрелью.

Соединение отдельных плит утеплителя в системах утепления «вентилируемый фасад» на штифтах является достаточно технологичным, т.к. практически все ответственные операции (сверление отверстий под штифты, установка и закрепление опорных штифтов) будет выполняться в специально оборудованных помещениях на строительной площадке.

Основной задачей при разработке конструктивных параметров механического соединения отдельных плит «Белтеп» является оценка его эксплуатационных характеристик – обеспечение герметичности стыка при совместном воздействии на конструкцию атмосферных воздействий и ветровой нагрузки. Очевидно, что герметичность стыка напрямую зависит от величины деформаций, которые могут возникнуть в штифтовом соединении в процессе его эксплуатации.

Очевидно, что основными причинами, которые могут привести к появлению деформаций в штифтовом соединении, следует считать:

- местное смятие или разрушение (срез) материала плитного утеплителя в месте его контакта со штифтом;
- разрушение штифта.

Учитывая, что минераловатные плиты «Белтеп» являются теплоизоляционным материалом, у которого прочностные и упругие характеристики не высоки (предел прочности при изгибе – 0,25...0,3 МПа, модуль упругости при изгибе – 14,9 МПа [9]), определяющим условием для обеспечения герметичности стыка является выбор материала штифта. Известно, что на характер напряженно-деформированного состояния в соединениях большое влияние оказывает соотношение модулей упругости соединяемых в узле материалов. Наиболее подходящим материалом, исходя из вышеизложенного, для использования в качестве штифтов является древесина. Кроме того, древесина является не дефицитным материалом, легко обрабатывается. Защита древесины антипиренами и антисептиками позволяют обеспечить ее огнестойкость и долговечность при эксплуатации во влажных условиях.

С учетом того, что прочность теплоизоляционного материала (плиты «Белтеп») на местное смятие и срез ниже аналогичных характеристик древесины, вероятность разрушения материала штифта крайне мала. Такой вариант возможен только при наличии существенных дефектов в самом штифте.

Следовательно, основное внимание при проектировании штифтового соединения необходимо уделять обеспечению прочности материала утеплителя на местное смятие на участке контакта со штифтом.

За основу при разработке конструктивного решения штифтового соединения стыка между минераловатными плитами «Белтеп», воспринимающими ветровые воздействия, были использованы результаты исследований В.С. Деревягина, выполненные при проектировании и изготовлению безметалльных составных балок [6]. Анализ результатов исследований, выполненных В.С. Деревягиным [6], позволил определиться с основными параметрами конструктивных элементов штифтового соединения:

- соотношением между длиной деревянного штифта ( $l$ ) и его толщиной ( $d$ ), приняв его равным  $l/d=4,0$ ;
- шагом установки штифтов, приняв его равным 60...120 мм.

**2. Лабораторные исследования разработанного штифтового соединения.** Как было отмечено выше, основным эксплуатационным требованием, которому должно удовлетворять штифтовое соединение, это – обеспечение герметичности стыка между плитами утеплителя в процессе эксплуатации. Очевидно, обеспечение герметичности стыка при ветровых воздействиях возможно при выполнении следующих условий.

- обеспечение «жесткости», т.е. отсутствие деформаций в стыке (штифтовом соединении) отдельных плит между собой в процессе эксплуатации;
- герметизация возможных зазоров в местах примыкания отдельных плит утеплителя друг к другу.

Главным условием обеспечения герметичности стыка следует считать «жесткость» штифтового соединения, так как материал герметика (слой защитной штукатурки) не рассчитан на восприятие силовых (особенно циклических) воздействий.

Исходя из изложенного выше, можно сделать следующее заключение: герметичность стыка будет обеспечена при условии, что прочность стыка на деревянных штифтах не ниже прочности материала минераловатных плит «Белтеп» на изгиб.

В связи с этим эксплуатационные характеристики штифтового соединения между плитами утеплителя в процессе эксплуатации предлагается оценивать следующим образом:

- провести лабораторные исследования фрагментов штифтовых соединений минеральных плит торговой марка «Белтеп» на статический изгиб до разрушения;
- выполнить сравнительный анализ полученных значений с аналогичными значениями, полученными при испытании цельных образцов минеральной ваты «Белтеп» на статический изгиб до разрушения.

Учитывая, что целью исследований является определение величины предела прочности штифтового соединения при статическом изгибе, испытания выполнялись в соответствии с ГОСТ17177 [1].

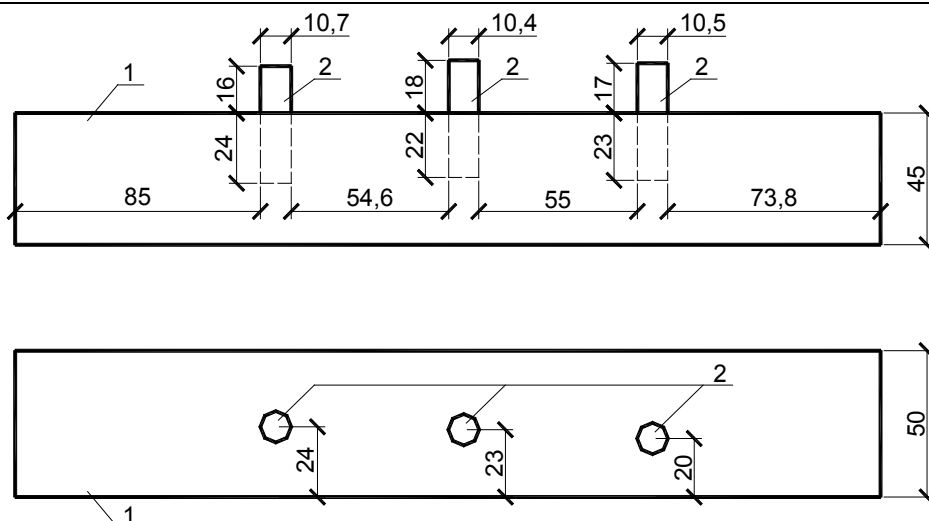


Рис. 1. Образец «Тун 1» («Тун 2»)

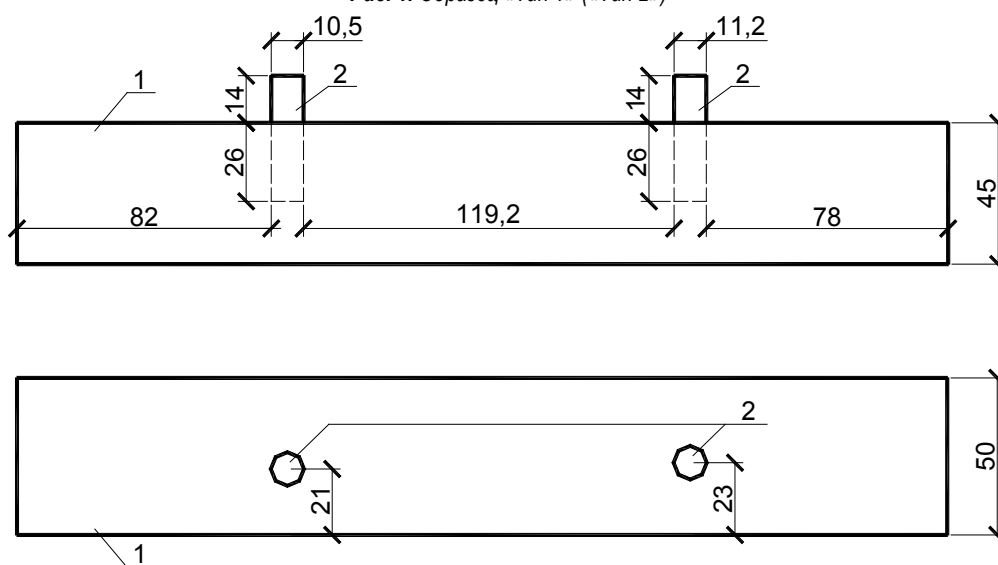


Рис. 2. Образец «Тун 3»

Таблица 1. Предел прочности образцов при статическом изгибе

Вид образца	Ширина образца, мм	Высота образца, мм	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности, МПа
«Тип 1»	153	47	220	0,23
«Тип 2»	145	48	260	0,29
«Тип 3»	155	47	290	0,31

Исходя из результатов выполненных исследований по определению прочностных и упругих характеристик минераловатных плит «Белтеп», их геометрических размеров (в первую очередь – толщины плиты) были приняты в качестве базовых следующие размеры основных конструктивных элементов стыка:

- толщина деревянного штифта – 10 мм;
- длина штифта – 40 мм;
- шаг расстановки штифтов – от 55 мм до 125 мм.

Для проведения лабораторных исследований штифтового соединения стыка минераловатных плит «Белтеп» были изготовлены образцы трех типов.

**Образец «Тип 1».** Образец был изготовлен из минераловатной плиты, экспонированной в течение шести месяцев на открытом воздухе.

Деревянные штифты были установлены в отверстия, просверленные с помощью ручной электродрели, сверлом диаметром 6 мм. Установка штифтов в отверстия была выполнена без использования клея.

По завершению соединения штифтового соединения был получен образец, соответствующий ГОСТ17177 [1]. Герметизация стыка

была выполнена с использованием нейтрального силиконового герметика Soudal.

Геометрические размеры образца приведены на рисунке 1.

**Образец «Тип 2».** Образец был изготовлен из минераловатной плиты «Белтеп», хранившейся в теплом складе.

Конструктивное решение стыка на штифтах выполнено аналогично образцу «Тип 1» (рис. 1).

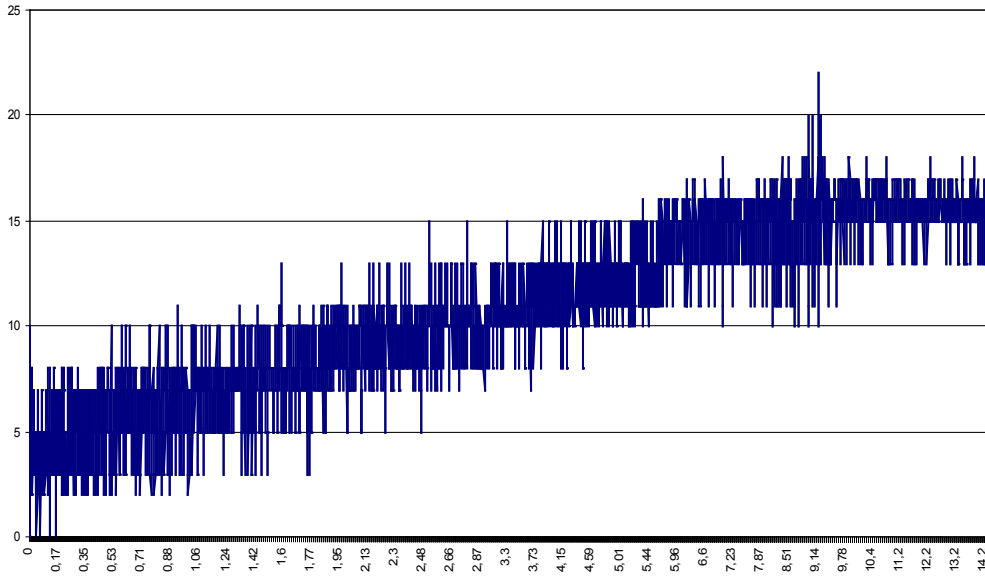
**Образец «Тип 3».** Образец был изготовлен из минераловатной плиты «Белтеп», хранившейся в теплом складе. Геометрические размеры образца приведены на рисунке 2.

Испытания проводились на прессе марки ИР-5145-500-11, оснащенном оборудованием, которое в автоматическом режиме выполняет измерение деформаций и строит график деформаций с выводом на экран монитора.

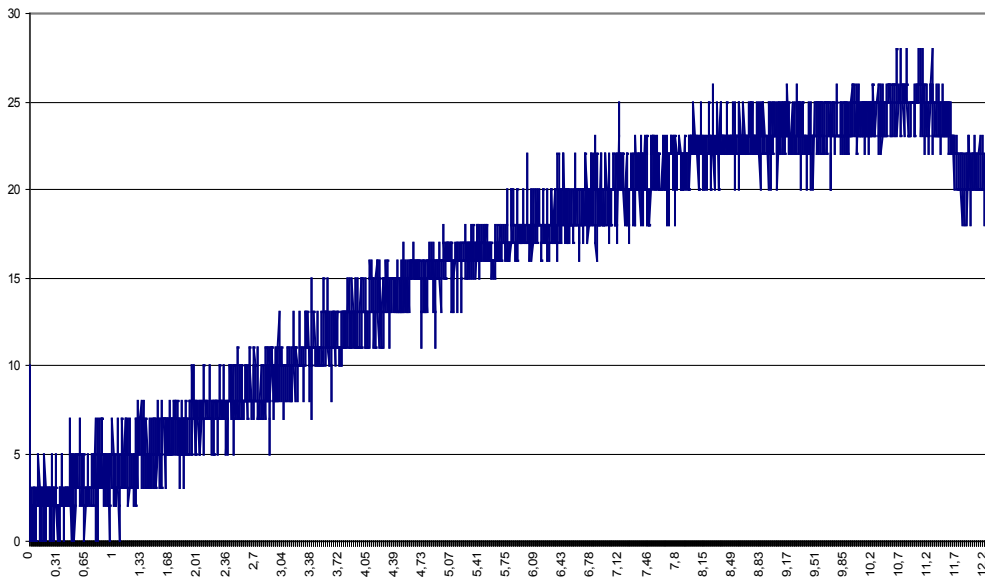
Обработанные результаты испытания приведены в таблице 1.

Графики деформаций фрагментов штифтового соединения минераловатных плит «Белтеп», полученные при испытании образцов на изгиб до разрушения приведены на рисунке 3.

а)



б)



в)

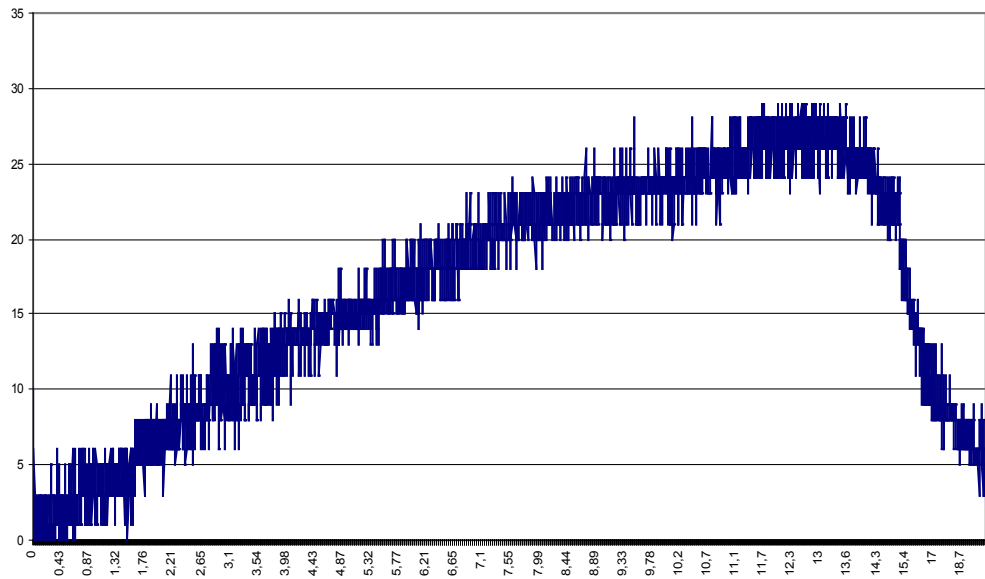


Рис. 3. Графики деформаций фрагментов штифтового соединения:  
а – образец «Тип 1» б – образец «Тип 2»; в – образец «Тип 3»

### Выводы

Результаты выполненных лабораторных исследований разработанного штифтового соединения минераловатных плит показали его высокую эффективность:

- все испытанные образцы разрушились по материалу утеплителя из-за истощения его несущей способности на изгиб;
- состояние штифтового соединения по итогам испытаний образцов до разрушения следует признать «удовлетворительным» – существенных разрушений материала минераловатных плит не произошло.

Анализ результатов выполненных исследований (табл. 1 и рис. 3) показал, что при соотношении между длиной деревянного штифта ( $l$ ) и его диаметром ( $d$ ), равном  $l/d=4,0$ , и шаге расстановки штифтов не более  $10d$ , разработанное решение стыка плитного утеплителя, воспринимающего ветровые воздействия, можно считать эффективным для минераловатных плит «Белтеп» плотностью не ниже  $150 \text{ кг/м}^3$ .

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 17177. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 1996. – 56 с.
2. Афанасьев А.А., Матвеев Е.П., Монастырев П.В. Индустриальные методы облицовки фасадов зданий при их утеплении // Промышленное и гражданское строительство. – 1997. – №6. – С. 49–51.

3. Монастырев П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 160 с.
4. Езерский В.А., Монастырев П.В. Повышение водонепроницаемости стыков облицовочных панелей // Жилищное строительство. – 1998. – №11. – С. 12–14.
5. Анализ и проектирование конструкций. Т.8. Композиционные материалы. Под ред. К Чамиса. / Пер. с англ. Под. ред. Л. Браутмана и Р. Крока. – М.: Машиностроение, 1978. – 264 с.
6. В.С. Деревягин. Безметалльные составные балки и металлодеревянные сборные фермы. – М.: Стройиздат, 1947. – 80 с.
7. Бартев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров. – Наука, 1964. – 279 с.
8. Старение и стабилизация полимеров. / Под. ред. А.С. Кузьмицкого – М.: Химия, 1966. – 208 с.
9. Исследования прочностных и упругих характеристик плитных утеплителей: отчет о НИР по теме «Разработка научно-обоснованных принципов осуществления тепловой реабилитации ограждающих конструкций эксплуатируемых зданий на основе термического экрана» / Брест. госуд. техн. ун-т; рук. В.Н. Черноиван. – Брест, 2006. – 36 с. – № ГР 20063374.
10. Морозова В. «Гомельстройматериалы»: выход на новый уровень // Архитектура и строительство. – 2005. – №6. – С. 96–100.

Материал поступил в редакцию 10.01.08

### CHERNOIVAN V.N., CHERNOIVAN N.V. Constructive solution of the joint of plate heater of systems of additional heat-shielding of exterior walls of buildings «ventilated front»

In article the analysis of maintenance characteristics rebate and open joints of plate heater, used in existing systems of additional heat-shielding of exterior walls of buildings «ventilated front» is given.

The constructive solution of the open joint of plate heater with usage of wood pins and a procedure of laboratory tests of the joint taking up load is offered. Results of laboratory researches offered joint with wood pins on a static bending are presented. By results of the fulfilled researches, recommendations on design of the joint with wood pins for mineral wool plates of the trade mark «Beltep» are given.

УДК 624.011.1:539.4

**Петрукович А.Н.**

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК, СПЛАЧЕННЫХ ВКЛЕЕННЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ СТЕРЖНЯМИ

**Введение.** Данная работа посвящена вопросу оценки моментов инерции балок, сплаченных металлическими стержнями, в плоскости минимальной жесткости. Это вызвано необходимостью оценки устойчивости балок из плоскости действия нагрузки и последующего проектирования связей по покрытию проектируемого здания бассейна.

В результате выполненных исследований получены значения моментов инерции балок в плоскости их наименьшего сопротивления, изучено влияние вклейки металлических стержней на работу балок сплаченных сечения в сравнении с балками цельного сечения аналогичных размеров.

В отчете приведены рекомендации по совершенствованию технологии сплачивания элементов балок вклейкой металлических стержней, а также по увеличению их жесткости.

При проектировании большепролетных деревянных клееных конструкций очень часто приходится сталкиваться с проблемой выбора рационального поперечного сечения. Это непосредственно связано с ограничениями высоты и ширины пакетов, обусловленными технологией изготовления деревянных клееных конструкций. Причем параметр ширины главным образом продиктован существующим сортаментом пиломатериалов. Поэтому поперечное сечение требуемых размеров чаще всего получают из двух и более пакетов, сплаченных между собой в плоскости наименьшей жесткости посредством стальных связей. В качестве таких связей в основном используются стальные стержни, вклеенные перпендикулярно боковым поверхностям с определенным шагом.

**1. Опытные образцы для проведения испытаний.** Для проведения испытаний были изготовлены два опытных образца в соответствии с проектным решением для натуральных конструкций. Образцы представляют собой клееные деревянные балки, выполненные из двух клееных пакетов из древесины ели, сплаченных между собой вклеенными металлическими стержнями – 14 стержней для образца №1 (рис. 1) и 10 стержней для образца №2 (рис. 2).

В результате осмотра и измерения образцов были установлены их геометрические размеры, а так же количество и расположение вклеенных стержней. Высота образца № 1 составляла 925 мм, ширина сечения из двух пакетов шириной по 140 мм составляла 280 мм. Стержни вклеены в два ряда по высоте сечения – симметрично, с отступом от края 150 мм, расстояние между стержнями по высоте – 625 мм; по длине балки стержни вклеены в 7 рядов с шагом 1400 мм, с отступом от торцов балки – 300 мм. Высота образца № 2 составляла 900 мм, ширина сечения из двух пакетов шириной 140 мм и 138 мм составляла 278 мм. Стержни вклеены в два ряда по высоте сечения – симметрично, с отступом от края 150 мм, расстояние между стержнями по высоте – 600 мм; по длине балки стержни вклеены в 5 рядов с шагом 2000 мм, с отступом от торцов балки – 500 мм.

Для сплачивания деревянных элементов использованы арматурные стержни  $\varnothing 20$  мм А-400 ГОСТ 5781-82, длиной 240 мм, что соответствовало проектному решению для натуральных конструкций.

**Петрукович Андрей Николаевич**, ассистент кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.  
Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.