



Василий Снопков  
Олег Леонович

# Расчет стеновых деревянных утепленных панелей для домов каркасного типа

## Часть 1. Расчет прочностных характеристик

Определена конструкция многослойной стеновой наружной панели для домов каркасного типа. Разработана методика и выполнен расчет прилагаемых нагрузок. Разработана схема нагружения и проведены испытания по определению максимальной несущей способности панели. Показано, что ее фактическая несущая способность значительно превышает расчетные нагрузки.

**Введение.** Каркасное домостроение является перспективным направлением развития жилищного строительства. Оно получает все большее распространение во всем мире, включая Республику Беларусь. К его преимуществам следует отнести невысокую стоимость и небольшие сроки строительства. Учитывая сказанное, исследования, посвященные разработке рациональных строительных конструкций для каркасного домостроения, методов исследования их прочностных и теплотехнических свойств, становятся все более актуальными и востребованными. Разработка и расчет оптимальных конструкций панелей на основе деревянного каркаса позволяют предприятиям-изготовителям экономить материальные и трудовые ресурсы, а потребителям их продукции обеспечивать комфортное проживание в домах каркасного типа.

**Основная часть.** Цель настоящей работы – выбор конструкции несущих стеновых деревянных панелей для домов каркасного типа, расчет прилагаемых к панели нагрузок, выбор методики и проведение испытаний несущей способности стеновой панели. Полученные результаты являются основой для разработки технических условий, сертификации и постановки изделия на производство.

Для выполнения расчетов принята конструкция многослойной стеновой наружной панели для домов каркасного типа (рис. 1).

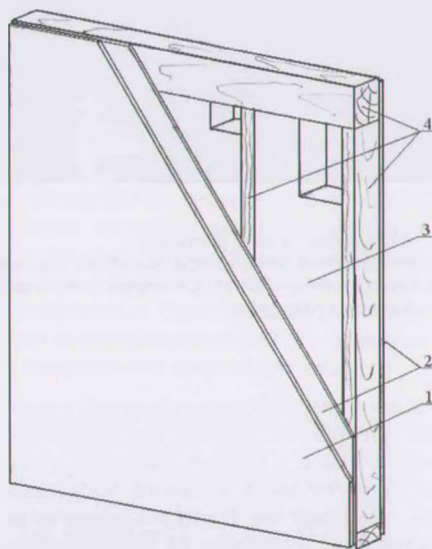


Рис. 1. Стеновая панель дома каркасного типа: 1 – гипсокартон; 2 – ОСП; 3 – минераловатная плита; 4 – деревянный каркас

В качестве прочностной характеристики панели выбрана расчетная несущая способность конструкции  $R_d$ . Определение этой характеристики проводили по СТБ 1591–2005 [1]. При выполнении расчетов рассматривали ситуацию, в которой конструкция выполняет свои функции в наиболее неблагоприятных условиях.

Воздействия  $F$ , воспринимаемые стеновой панелью, складываются из прямого и косвенного воздействий. Прямое воздействие – это нагрузка (усилие), приложенная к конструкции. Кос-

венное – вынужденная деформация, возникшая в результате изменения температуры или влажности. Нормативные значения  $F_k$  принимали в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07 [2–4]. В случае если требования указанного нормативного документа недостаточны, нормативные значения воздействий могут быть уточнены заказчиком.

Воздействия в зависимости от продолжительности действия классифицируют на постоянные  $G$  и временные  $Q$ . Временные в свою очередь подразделяют на длительные, средней длительности, кратковременные и особые. Для постоянных воздействий, коэффициент вариации которых велик или которые изменяются в течение срока службы конструкции, устанавливали два нормативных значения: полное (верхнее)  $G_{k, sup}$  и пониженное (нижнее)  $G_{k, inf}$ . Для остальных постоянных воздействий использовали единственное нормативное значение  $G_k$ . Для временных воздействий основным является их нормативное значение  $Q_k$ . Другие значения временных воздействий определяли через  $Q_k$  и коэффициент сочетания  $\psi$ . Значения коэффициентов сочетаний принимали по СНиП 2.01.07.

Расчетные значения воздействий  $F_d$  определяли по формуле

$$F_d = \gamma_F F_k \quad (1)$$

где  $F_k$  – нормативное значение нагрузки, приложенной к конструкции;  $\gamma_F$  – коэффициент надежности для воздействий.

Применительно к постоянным и временным воздействиям формула (1) принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} G_d &= \gamma_G G_k; Q_d = \gamma_Q Q_k; \\ Q_d &= \gamma_Q \Psi_i Q_k \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\gamma_G, \gamma_D$  – коэффициенты надежности, учитывающие возможность неблагоприятных отклонений воздействий, неточность их моделирования и неопределенность в оценке результатов воздействий.

При выполнении расчетов учитывали реакцию конструкции на воздействие в виде изгибающих моментов, усилий и нагрузок. Расчетные значения результатов воздействий  $E_d$  определяли, используя расчетные значения воздействий и геометрические данные материала:

$$E_d = E (F_{\sigma}, a_{\sigma}, \dots), \quad (3)$$

где  $a_{\sigma}$  – геометрическая характеристика материала.

Расчетную несущую способность стеновой панели  $R_d$  определяли как функцию расчетных значений свойств материала, его геометрической характеристики и результатов воздействий:

$$R_d = R (X_{\sigma}, a_{\sigma}, E_{\sigma}, \dots), \quad (4)$$

где  $X_{\sigma}$  – расчетные значения свойств материала.

Свойства материала характеризуются нормативным значением  $X_k$ , которое соответствует квантилю в предполагаемой статистической функции распределения, установленной соответствующим стандартом на испытание. Расчетное значение  $X_{\sigma}$  свойства материала определяется по формуле

$$X_{\sigma} = \frac{X_k}{\gamma_m \cdot \gamma_n}, \quad (5)$$

где  $\gamma_m$  – коэффициент надежности по материалу;  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению.

При расчете конструкций на прочность должно соблюдаться следующее условие:

$$T_d < R_d, \quad (6)$$

где  $T_d$  – расчетное значение внутренней силы или момента, суммарного вектора нескольких внутренних сил или моментов.

Расчетные значения нагрузок рассчитывали по формуле

$$T_d = \sum \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_{D1} \cdot Q_{k1} + \sum \gamma_{Qj} \cdot \Psi_{Qj} \cdot Q_{kj}, \quad (7)$$

где  $G_{kj}$  – нормативные значения постоянных воздействий;  $Q_{k1}$  – нормативное значение одного из временных воздействий;  $Q_{kj}$  – нормативные значения остальных временных воздействий;  $\gamma_{Gj}$  – коэффициенты надежности для постоянных воздействий;  $\gamma_{Qj}$  – коэффициенты надежности для временных воздействий;  $\Psi_{Qj}$  – коэффициенты сочетаний.

Для получения исходных данных для расчета была использована проектная

документация дома каркасного типа, представленного на рис. 2. Общая высота дома с учетом первого этажа и надстройки составляет  $H = 2,7 + 1,3$  м. Расчеты производили по изложенной выше методике. При этом были определены результаты воздействия:

– постоянной нагрузки, создаваемой конструкциями дома;

– временной нагрузки, возникающей в результате нахождения в доме людей и оборудования;

– снеговой и ветровой временной нагрузки.

Собственный вес конструкций  $G_k$ , расположенных выше отметки +2,7 м, определяли по номинальным размерам и средней плотности конструкционных материалов, входящих в их состав. В расчетах были определены вес перекрытия между 1-м и 2-м этажами, стен наружных мансардных высотой 1,3 м с фронтоном, перекрытия между 2-м этажом и пространством под крышей, стен внутренних, крыши двухскатной. Постоянное весовое воздействие на отметке +2,7 м составило  $G_k = 19\,261$  кг. Далее в соответствии с рекомендациями СНиП 2.01.07–85 были определены расчетное значение постоянного воздействия  $G_d$  и расчетный эффект от этого воздействия  $E_d$ .

Согласно п. 1.12 [2, с. 3], нагрузка на перекрытие от людей и оборудования принята 0,3 МПа, коэффициент сочетания  $\Psi_D = 0,9$ . Нормативные значения для древесины  $X_k$  были приняты по СНБ 5.05.01–2000 [5]. На сжатие вдоль волокон для древесины 3-го сорта оно составило 15/20 МПа, на смятие и сжатие поперек волокон – 1,8 МПа. Значения коэффициентов надежности принимали по ГОСТ 11047–90 [6], ГОСТ 27751–88 [7] и СНиП 2.01.07–85:  $\gamma_m = 0,8$ ;  $\gamma_n = 0,95$ .

Проведенные теоретические расчеты предельных состояний по несущей способности показали, что условие прочности древесины на сжатие, установленное неравенством (6), соблюдается. Максимальная расчетная величина внутренних реакций от всех внешних воздействий  $T_d$ , равная 0,23 МПа, значительно меньше максимальной несущей способности древесины  $R_d$ , величина которой составила 9,8 МПа. Также это условие соблюдается и на смятие:  $T_d = 0,2$  МПа,  $R_d = 1,1$  МПа.

Полученные значения максимальной расчетной величины внутренних реакций от всех внешних воздействий  $T_d$  и максимальной расчетной нагрузки на один погонный метр  $g$  были использованы при составлении схемы нагружения панели дома каркасного типа для проведения натурных испытаний (рис. 3).

Стеновая деревянная утепленная панель изготовлена в ОАО "Борисов-

ский ДОК". Ее размеры были приняты 2700×3000 мм, что продиктовано возможностями испытательного оборудования.

Испытания проводились с целью определения фактического значения разрушающей нагрузки с последующим расчетом несущей способности и надежности работы под нагрузкой опытного образца стеновой деревянной панели дома каркасного типа.

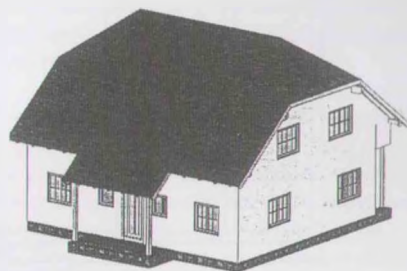


Рис. 2. Дом каркасного типа

Панель испытывали на силовом полу экспериментального цеха БелНИИС согласно требованиям [1]. Условия проведения испытаний: температура окружающей среды – (+20) °С, относительная влажность – 67%. Величина расчетной погонной нагрузки на панель при заданной конструкции дома каркасного типа равна 5,06 кН/м, суммарная – 15,18 кН.

Панель опирали на силовую пол через цементно-песчаный раствор М-150 толщиной 20 мм. Площадь опирания составляла 3000×150 мм. Для обеспечения вертикальности положения во время испытания верх панели был закреплен от смещения в горизонтальном направлении. Сверху панель загружали через жесткую стальную балку, также установленную на слое цементно-песчаного раствора М-150. Равномерно распределенную нагрузку  $Q$  создавали при помощи трех гидравлических домкратов ДГ-50 и контролировали по манометру МТИ-160–16МПа-0,6 согласно ТУ 25–05–1664–74 [8].

На первой стадии загрузки панели загружали равными ступенями по 3 кН, или 0,2 от величины расчетной нагрузки. Далее величины ступеней постепенно повышались и составляли от 15 до 30 кН. Между ступенями загрузки давали выдержку 20 мин., во время которой отслеживали возможное появление в элементах испытуемой конструкции деформаций разрушения, трещин и повреждений. В процессе загрузки вели также наблюдение за возможным выходом панели из плоскости. С этой целью использовали два прогибомера 6ПАО с ценой деления 0,01 мм, установленные вверху и посередине центральной части панели



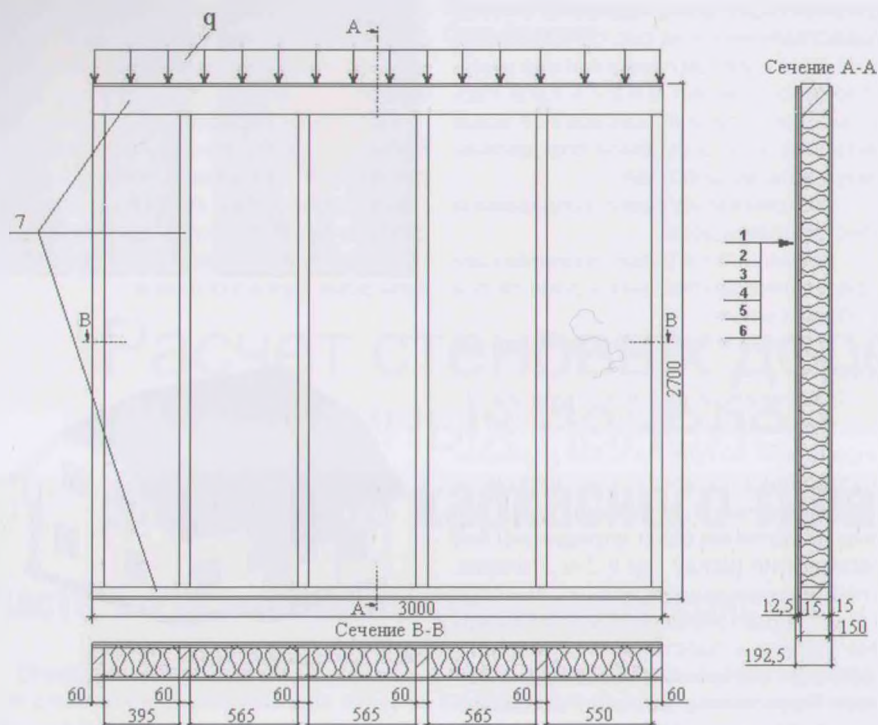


Рис. 3. Схема нагружения панели дома каркасного типа:  
1 – гипсокартон; 2 – ОСП; 3 – пленка пароизоляционная “Изоспан В”;  
4 – теплоизоляционный материал “Изовер KL37”;  
5 – пленка ветро-влагозащитная “Изоспан АМ”; 6 – ОСП

При погонной нагрузке, равной  $R_d = 5,06 \text{ кН/м}$  (суммарная нагрузка – 15,18 кН), трещин и повреждений обнаружено не было. При дальнейшем нагружении до нагрузки, равной 150 кН/м (450 кН), произошло хрупкое раскалывание торцевой обшивочной доски с раскрытием трещины на ширину более 5 мм.

Согласно СТБ 1591–2005 фактическая несущая способность конструкции  $R_{sup}$  для хрупкого разрушения определяется по формулам

$$R_{sup} = \frac{F_{max}}{\gamma_v}; \quad (8)$$

$$\gamma_v = 1,48 (1,88 - 0,106 \lg t); \quad (9)$$

$$t = 0,02 \cdot t_1 + t_2; \quad (10)$$

где  $F_{max}$  – максимальная сила воздействия на конструкцию, кН;  $\gamma_v$  – коэффициент надежности при хрупком разруше-

нии конструкции;  $t$  – приведенное время, соответствующее действию неизменной нагрузки, с;  $t_1$  – время от начала испытаний до разрушения конструкции, с;  $t_2$  – время, в течение которого конструкция выдержала максимальную разрушающую нагрузку, с.

Поскольку при проведении испытания разрушение конструкции произошло в процессе роста нагрузки, принимаем  $t_2 = 0$  с.

Подставляя полученные при испытании значения максимальной нагрузки и продолжительности испытаний, получаем

$$t = 0,02 \cdot t_1 + t_2 = 0,02 \cdot 13200 = 264 \text{ с};$$

$$\gamma_v = 1,48 (1,88 - 0,106 \lg t) = 1,48 (1,88 - 0,106 \lg 264) = 2,40.$$

Тогда

$$R_{sup} = \frac{150}{2,40} = 62,5 \text{ кН/м}, \text{ что соответствует суммарной нагрузке } 187,5 \text{ кН}.$$

Таким образом, полученное в результате испытания значение фактической несущей способности конструкции намного выше расчетного значения, равного 5,06 кН/м (15,18 кН/м), т.е. условие, заданное в СТБ 1591–2005, выполняется:

$$\frac{R_{sup}}{R_d} \geq 1. \quad (10)$$

**Закключение.** Разработана методика расчета прочностных характеристик стеновых деревянных утепленных панелей для домов каркасного типа. Проведенные теоретические расчеты показали, что несущая способность панели во много раз больше расчетных нагрузок от внешних воздействий для принятой конструкции каркасного дома. Проведены натурные испытания панели размером 2700×3000 мм в аккредитованной лаборатории БелНИИС. Испытания подтвердили, что фактическая несущая способность стеновой деревянной панели значительно выше расчетной нагрузки. Надежность работы конструкции под нагрузкой обеспечена.

#### Литература

- СТБ 1591–2005 Конструкции деревянные и металлдеревянные. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности и жесткости.
- СНиП 2.01.07–85 Нагрузки и воздействия.
- СНиП 2.01.07–85 Нагрузки и воздействия. Изм. № 1. – Введ. в дейст. приказом Министерства архитектуры и строительства РБ № 166 от 18.06.2004.
- СНиП 2.01.07–85 Нагрузки и воздействия. Дополнения. Разд. 10. Прогобы и перемещения.
- СНБ 5.05.01–2000 Деревянные конструкции.
- ГОСТ 11047–90 Детали и изделия деревянные для жилых малоэтажных и общественных зданий. Общие технические условия.
- ГОСТ 27751–88 (СТ СЭВ 384–87) Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету.
- ТУ 25–05–1664–74 Манометры и вакуумметры образцовые с условными шкалами типа МО и ВО.

## Часть 2. Расчет теплотехнических характеристик

Разработана методика и выполнен расчет теплотехнических характеристик стеновых деревянных утепленных панелей для домов каркасного типа. Показано, что реальное сопротивление теплопередаче превышает нормативное, а значит, панель соответствует предъявляемым требованиям. Испытания, проведенные в аккредитованной лабора-

тории БелНИИС, подтвердили правильность расчетов.

**Введение.** Для принятой конструкции стеновых деревянных утепленных панелей домов каркасного типа исследованы теплотехнические характеристики. Полученные результаты в совокупности со сведениями о прочност-

ных свойствах панелей являются основой для разработки технических условий на новый вид продукции.

**Основная часть.** Цель настоящей работы – определение теплотехнических характеристик стеновой деревянной утепленной панели для домов каркасного типа, а также проведение испытаний по определению сопротивле-

ния теплопередаче ее опытного образца. Результаты работы использованы для разработки технических условий, сертификации и постановки изделия на производство.

Ограждающие конструкции жилых зданий с нормируемыми значениями температуры и влажности внутри помещений должны иметь определенное значение сопротивления теплопередаче. От этого параметра зависят санитарно-гигиенические условия проживания и затраты на эксплуатацию зданий. Наружные ограждающие конструкции, за исключением заполнения проемов (окон, дверей и т.д.), должны иметь сопротивление теплопередаче  $R_{т.т.р.}$ , равное экономически целесообразному, но не менее требуемого, определяемого санитарно-гигиеническими условиями, и не менее нормативного сопротивления теплопередаче, установленного [1].

Расчет требуемого сопротивления теплопередаче  $R_{т.т.р.}$  производили по формуле [2]

$$R_{т.т.р.} = \frac{n \cdot (t_{в} - t_{н})}{\alpha_{в} \cdot \Delta t_{в}}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}, \quad (1)$$

где  $n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (табл. 5.3 [2]);  $t_{в}$ ,  $t_{н}$  – расчетная температура внутреннего и наружного воздуха, °C (раздел 4 [2]);  $\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C) (табл. 5.4 [2]);  $\Delta t_{в}$  – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °C (табл. 5.5 [2]).

Экономически целесообразное сопротивление теплопередаче  $R_{т.эк}$  определяли по формуле

$$R_{т.эк} = 0,5 \cdot R_{т.т.р.} + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} \cdot C_{т.э} \cdot z_{от} \cdot (t_{в} - t_{н.от})}{C_{м} \cdot \lambda \cdot R_{т.т.р.}}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}, \quad (2)$$

где  $C_{т.э}$  – стоимость тепловой энергии, руб./ГДж;  $z_{от}$  – продолжительность отопительного периода, сут. (табл. 4.4 [2]);  $t_{н.от}$  – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, °C (табл. 4.4 [2]);  $C_{м}$  – стоимость материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции, руб./м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции, Вт/(м·°C) (табл. А1 [2]).

Нормативное значение сопротивления теплопередаче  $R_{т.норм}$  принимали по табл. 5.1 [2].

Поскольку рассчитываемая стеновая панель имеет в теплоизоляционном слое сквозные включения из древесины с большим, чем у минеральной ваты, ко-

эффициентом теплопроводности, в расчетах использовали приведенный коэффициент теплопроводности  $\lambda_{пр}$ , определенный по формуле

$$\lambda_{пр} = \frac{\lambda_1 \cdot F_1 + \lambda_2 \cdot F_2}{F_1 + F_2}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}, \quad (3)$$

где  $\lambda_1$  и  $F_1$  – коэффициент теплопроводности минеральной ваты, Вт/(м·°C), и площадь участка, м<sup>2</sup>;  $\lambda_2$  и  $F_2$  – коэффициент теплопроводности древесины, Вт/(м·°C), и площадь сквозных включений из древесины в панели, м<sup>2</sup>.

Сопротивление теплопередаче  $R_{т.т.р.}$  стеновой панели определяли по формулам

$$R_{т.т.р.} = \frac{1}{\alpha_{н}} + R_{к} + \frac{1}{\alpha_{в}}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}; \quad (4)$$

$$R_{к} = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}; \quad (5)$$

$$R_i = \frac{\lambda_i}{\delta_i}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}; \quad (6)$$

где  $\alpha_{н}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности панели для зимних условий, Вт/(м<sup>2</sup>·°C) (табл. 5.7 [2]);  $R_{к}$  – термическое сопротивление панели, м<sup>2</sup>·°C/Вт;  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – термическое сопротивление отдельных слоев панели, м<sup>2</sup>·°C/Вт;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя панели, Вт/(м·°C);  $\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя панели, м.

В многослойных ограждающих конструкциях влажностный режим материалов отдельных слоев в зависимости от их теплотехнических характеристик и взаимного расположения в конструкции может не соответствовать влажностному режиму помещений. Поэтому в расчетах определяли уточненные расчетные значения эксплуатационной влажности и условий эксплуатации материалов отдельных слоев панели.

Температуру на поверхности стены, граничных поверхностях материалов отдельных слоев и в промежуточных сечениях слоев определяли по формуле

$$t_i = t_{в} - \frac{t_{в} - t_{н.от}}{R_{т.т.р.}} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{в}} \cdot \sum R_{т.т.р.} \right), \text{ °C}, \quad (7)$$

где  $R_{т.т.р.}$  – термическое сопротивление слоев панели от ее внутренней поверхности стены до рассматриваемого сечения стены, м<sup>2</sup>·°C/Вт.

Сопротивление паропрооницанию стеновой панели  $R_n$  рассчитывали по формуле

$$R_n = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\mu_n}, \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}, \quad (8)$$

где  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  – толщина отдельных слоев панели, м;  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$  – коэффициенты паропрооницаемости материалов, из которых изготовлена панель, мг/(м·ч·Па).

Расчетное парциальное давление водяного пара на граничных поверхностях материалов и в сечениях слоев определяли по формуле

$$e_i = e_{в} - \frac{e_{в} - e_{н}}{R_{т.т.р.}} \cdot \sum R_{т.т.р.}, \text{ Па}, \quad (9)$$

где  $e_{в}$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па;  $e_{н}$  – парциальное давление водяного пара наружного воздуха при средних температуре и относительной влажности за отопительный период, Па (табл. 4.4 [2]);  $\sum R_{т.т.р.}$  – сумма сопротивлений паропрооницанию панели от внутренней поверхности до рассматриваемого сечения, м<sup>2</sup>·ч·Па/мг.

Расчетные значения относительной влажности в сечениях панели  $\phi_i$  определяли по формуле

$$\phi_i = \frac{e_i}{E_i} \cdot 100, \%, \quad (10)$$

где  $E_i$  – максимальное парциальное давление водяного пара, соответствующее температуре  $t_i$  в сечениях панели, Па.

С использованием изложенной выше методики выполнен расчет сопротивления теплопередаче стеновой деревянной утепленной панели (рис. 1, часть 1) для климатических условий Минской области.

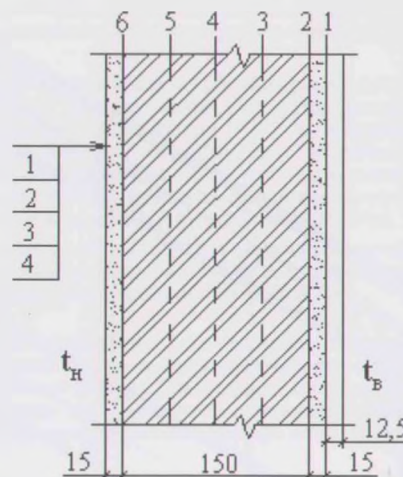


Рис. 1. Расчетная схема стеновой панели:  
1 – ориентированная стружечная плита (ОСП);  
2 – минераловатная плита;  
3 – ОСП; 4 – гипсокартон

Расчеты показали, что требуемое сопротивление теплопередаче, определенное по формуле (1), составляет  $R_{т.т.р.} = 0,82 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ , экономически целесообразное сопротивление теплопередаче, определенное по формуле (2), –  $R_{т.эк} = 4,85 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ . Реальное сопротивление теплопередаче стеновой панели, определенное по формуле (4), оказалось равным  $R_{т.т.р.} = 2,93 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ . В соответствии с табл. 5.1 [2] нормативное сопротивление теплопередаче рассматриваемой панели должно быть  $R_{т.норм} = 2,50 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ . Таким образом, необходимое условие  $R_{т.т.р.} \geq R_{т.норм}$  в данном случае выполняется.



Аналогичные расчеты были проделаны для других вариантов конструкции панели. Полученные результаты позволили выявить те из них, которые отвечают нормативным требованиям по сопротивлению теплопередаче.

Для проведения натурных испытаний в ОАО "Борисовский ДОК" была изготовлена стеновая деревянная утепленная панель дома каркасного типа (рис. 2). Она состоит из деревянного каркаса – бруса клееного непрофилированного сечением 150×160 мм и досок хвойных строганных сечением 60×150 мм. Габаритные размеры панели – 3000×2700×192,5 мм. С наружной стороны панель обшита влагостойкой плитой ОСП-3 толщиной 15 мм, с внутренней – плитой ОСП-3 и гипсокартонном ГКЛВ толщиной 12,5 мм. В качестве утеплителя использованы теплоизоляционные плиты из минеральной ваты "ИзOVER КЛ 37/50", с внутренней стороны изолированные пароизоляционной пленкой "Изоспан В", с на-

ностью 0,92 для климатических условий Минской области. С внутренней стороны температура воздуха соответствовала требованиям [2] для жилых зданий, т.е.  $(18 \pm 1)$  °С при его относительной влажности  $(55 \pm 1)\%$ . Контроль параметров воздуха осуществляли с помощью гигрографа типа М-21 по ТУ 257812.044–86 [4] и термографа типа М-16А по ГОСТ 6416–75 [5] круглосуточно, а также аспирационным психрометром типа МВ 4Н по ТУ 25–1607–054–85 [6] через каждые 3 ч. Тепловой поток измеряли по ГОСТ 25380–82 [7] с помощью преобразователей тепловых потоков (тепломеров) типа ПТП. Температуру воздуха в тепловой и холодной камерах климатического стенда, а также на поверхностях испытываемой панели измеряли термoeлектрическими преобразователями (термопарами) типа ТХК по ГОСТ 3044–84 [8]. В качестве вторичных приборов использовали многоканальный вольтметр постоянного напряжения МВПН с устройством для термостабилизации сво-

ловие  $R_{T, \text{ф}} \geq R_{T, \text{норм}}$  выполняется, а значит, по своим теплотехническим характеристикам панель соответствует предъявляемым требованиям ТКП 45–2.04–43–2006 [10].

**Заключение.** Разработана методика расчета теплотехнических характеристик стеновых деревянных утепленных панелей для домов каркасного типа. Теоретические расчеты показали, что реальное сопротивление теплопередаче стеновой панели принятой конструкции составляет  $R_T = 2,93 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ , что больше нормативного сопротивления теплопередаче, равного  $R_{T, \text{норм}} = 2,50 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ . Таким образом, необходимое условие  $R_T \geq R_{T, \text{норм}}$  выполняется. Проведены натурные испытания панели размером 3000×2700×192,5 мм в аккредитованной лаборатории БелНИИС. Испытания подтвердили, что панель по своим теплотехническим характеристикам соответствует предъявляемым требованиям ТКП 45–2.04–43–2006.



Рис. 2. Стеновая деревянная утепленная панель дома каркасного типа:  
1 – гипсокартон; 2 – ОСП; 3 – пленка пароизоляционная "Изоспан В";  
4 – клееный брус;  
5 – теплоизоляционные плиты из минеральной ваты "ИзOver КЛ 37/50";  
6 – пленка ветроизоляционная типа "Изоспан АМ"; 7 – ОСП; 8 – опоры

ружной – ветроизоляционной пленкой типа "Изоспан АМ".

Теплотехнические испытания панели с утеплителем из минераловатных плит проведены на климатическом комплексе БелНИИС Минстройархитектуры в соответствии с ГОСТ 26254–84 [3].

С наружной стороны панели во время испытаний поддерживали температуру воздуха, равную минус  $(28 \pm 1)$  °С, что соответствует средней температуре наиболее холодных суток с вероят-

бодных спаев термопар и универсальный вольтметр В7–65 согласно ТУ РБ 14559587.038–85 [9].

В результате испытаний были получены следующие значения сопротивления теплопередаче: приведенное сопротивление теплопередаче при толщине теплоизоляционного слоя 150 мм составляет  $R_{T, \text{ф}} = 2,93 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ , что в точности соответствует расчетным данным и больше, чем нормируемое СНБ 2.04.01–97 значение этого параметра  $R_{T, \text{норм}} = 2,50 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ . Таким образом, ус-

#### Литература

1. Маилян, Р.П. Строительные конструкции / Р.П. Маилян. – Ростов: Феникс, 2005. – 727 с.
2. СНБ 2.04.01–97 Строительная теплотехника.
3. ГОСТ 26254–84 Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.
4. ТУ 257812.044–86 Гигрограф типа М-21. Технические условия.
5. ГОСТ 6416–75 Термографы метеорологические с биметаллическим чувствительным элементом. Технические условия.
6. ТУ 25–1607–054–85 Гигрометр психрометрический ВИТ-2. Технические условия.
7. ГОСТ 25380–82 Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции.
8. ГОСТ 3044–84 Преобразователи термoeлектрические. Номинальные статические характеристики преобразования.
9. ТУ РБ 14559587.03–85 Вольтметры универсальные. Технические условия.
10. ТКП 45–2.04–43–2006 Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования.