

УДК 674.11

Д. П. Бабич, аспирант (БГТУ);
О. К. Леонович, канд. техн. наук, зав. НИЛ ОСКиМ (БГТУ)

РАСЧЕТ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Произведен расчет теплотехнических характеристик ограждающих конструкций деревянных домов. В качестве объекта исследования выбраны наружные стены различной конструкции, производимые на домостроительных заводах Республики Беларусь. Приведены рекомендации по утеплению наружных стен.

Calculation thermotechnics characteristics of protecting designs of wooden houses is made. As object of research the external walls of a various design made at house-building factories of Byelorussia are chosen. Recommendations about warming of external walls are resulted.

Введение. Деревянное домостроение в нашей стране приобретает все большую популярность. Строительство и благоустройство агрогородков, загородных домов для постоянного проживания и летних дач являются основными отраслями строительства, где используются деревянные дома. Дома из древесных материалов имеют ряд достоинств, а именно экологичность, быстрота возведения (для каркасных конструкций), относительная дешевизна, возможность строительства по индивидуальным проектам и т. д. Высококачественные строительные материалы и точность проектирования (небольшой расход материалов) делают деревянные дома наиболее выгодными для малоэтажного домостроения по цене, качеству и эксплуатации.

Одним из важнейших показателей для современного дома является экономичность его эксплуатации. Прежде всего, это касается уменьшения расхода тепловой энергии в домах. Основной путь сбережения тепловой энергии – проектирование и строительство новых домов с ограждающими конструкциями (наружными стенами, перекрытиями и т. д.) с требуемым сопротивлением теплопередаче, а для существующих домов – дополнительная теплоизоляция наружных стен для придания им требуемого сопротивления теплопередаче. Для определения этого показателя проводится теплотехнический расчет наружной стены определенной конструкции. Целью данной работы являлось определение теплотехнических характеристик наружных стен деревянных домов, производимых на домостроительных предприятиях Республики Беларусь, и выявление соответствия этих стен нормативным требованиям, предъявляемым к сопротивлению теплопередаче. Для этого проводился расчет сопротивления теплопередаче стеновой конструкции и сравнение полученного результата с нормативным значением.

Методика проведения расчета. Теплотехнический расчет стеной конструкции проводится по методике, изложенной в СНБ 2.04.01-97 [1].

Сопротивление теплопередаче R_t , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, ограждающей конструкции (кроме заполненной световых проемов) определяют по формуле (1):

$$R_t = \frac{1}{\alpha_b} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (1)$$

где R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, определяемое по п. 5.12, 5.13 или 5.14 [3]; α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, принимаемый по таблице 5.7 [1]; α_b – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, принимаемый по таблице 5.4 [1].

Термическое сопротивление однослойной однородной ограждающей конструкции, а также однородного слоя многослойной конструкции определяют по формуле (2):

$$R = \frac{\lambda}{\delta}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$, принимаемый по табл. А.1 [1] в зависимости от расчетных температуры и относительной влажности внутреннего воздуха; δ – толщина однослойной однородной конструкции или слоя многослойной конструкции, м.

Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями определяют по формуле (3):

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (3)$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термическое сопротивление отдельных слоев конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, определяемое по формуле (2), и замкнутых воздушных прослоек, принимаемое по табл. Б.1 [1].

В соответствии с [1] для многослойной ограждающей конструкции полученное значение сопротивления теплопередаче является предварительным и подлежит уточнению.

Уточненный расчет сопротивления теплопередаче многослойной ограждающей конструкции выполняют в соответствии с п. 9 [1], приняв расчетные коэффициенты теплопроводности материалов слоев конструкции по табл. А.1 [1] для условий эксплуатации А, если среднее значение относительной влажности для слоя менее или равно 75%, и для условий эксплуатации Б, если среднее значение относительной влажности для слоя более 75%.

При выполнении работы были определены сопротивления теплопередаче для внешних стен пяти конструкций, производимых на предприятиях Республики Беларусь.

Результаты расчета.

1. Наружная стена из стеновой панели с дополнительным утеплением. Конструкция стены приведена на рис. 1.

Средняя относительная влажность воздуха для гипсокартона, внутренней ОСП, теплоизоляционного слоя, наружной ОСП, дополнительного теплоизолятора пенопласта составляет менее 75%, а для штукатурки – более 75%. Поэтому производим уточненный расчет сопротивления теплопередаче стены, приняв для гипсокартона, внутренней ОСП, теплоизоляционного слоя, наружной ОСП, дополнительного теплоизолятора пенопласта условия эксплуатации А, а для штукатурки – условия эксплуатации Б.

Сопротивление теплопередаче стены с учетом влажностного режима составляет:

$$R_{0,6} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,010}{0,21} + \frac{0,050}{0,041} + \frac{0,015}{0,23} + \frac{0,150}{0,057} + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,0125}{0,19} + \frac{1}{23} = 4,24 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

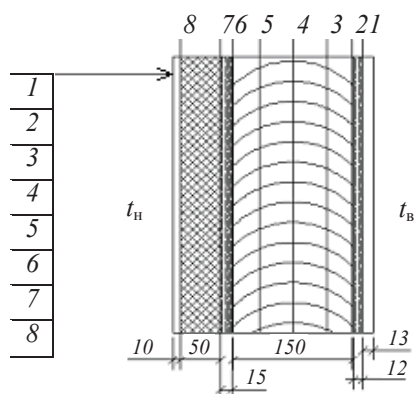


Рис. 1. Конструкция стены дома каркасного типа с дополнительным утеплителем:

- 1 – штукатурка; 2 – пенопласт;
- 3 – ориентированная стружечная плита (ОСП) толщиной 15 мм; 4 – ветрозащитный слой;
- 5 – минераловатная плита;
- 6 – пароизоляционный слой;
- 7 – ОСП толщиной 12 мм; 8 – гипсокартон

В соответствии с таблицей 5.1 [1] сопротивление теплопередаче данной конструкции стены должно быть не менее $R_{т\text{норм}} = 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, что выполняется, так как $R_{т,y} = 4,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

2. Наружная стена из стеновой панели. Конструкция стены приведена на рис. 2.

Средняя относительная влажность воздуха для гипсокартона, внутренней ОСП и теплоизоляционного слоя составляет менее 75%, а для и наружной ОСП – более 75%. Поэтому производим уточненный расчет сопротивления теплопередаче стены, приняв для гипсокартона, внутренней ОСП, теплоизоляционного слоя условия эксплуатации А, а для наружной ОСП – условия эксплуатации Б

Сопротивление теплопередаче стены с учетом влажностного режима составляет:

$$R_{т,y} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,29} + \frac{0,150}{0,057} + \frac{0,012}{0,23} + \frac{0,0125}{0,19} + \frac{1}{23} = 2,95 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

В соответствии с табл. 5.1 [1] сопротивление теплопередаче данной конструкции стены должно быть не менее $R_{т\text{норм}} = 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, что выполняется, так как $R_{т,y} = 2,95 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

3. Наружная стена из клееного бруса. Конструкция стены приведена на рис. 3.

Расчетное сопротивление теплопередаче стены составляет:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,210}{0,18} + \frac{1}{23} = 1,32 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

В соответствии с табл. 5.1 СНБ 2.04.01-97 сопротивление теплопередаче данной конструкции стены должно быть не менее $R_{т\text{норм}} = 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, что не выполняется, т. к. $R_t = 1,32 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

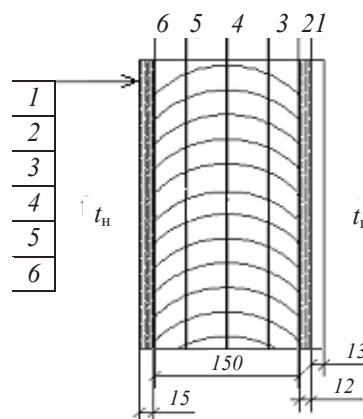


Рис. 2. Конструкция стены дома каркасного типа:

- 1 – ориентированная стружечная плита (ОСП) толщиной 15 мм; 2 – ветроизоляционный слой;
- 3 – минераловатная плита;
- 4 – пароизоляционный слой;
- 5 – ОСП толщиной 12 мм;
- 6 – гипсокартон

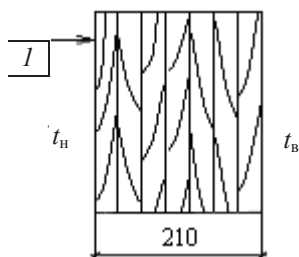


Рис. 3. Конструкция стены из клееного бруса

Поскольку условие сопротивления теплопередаче стены не выполняется, то проведем расчет величины дополнительного слоя теплоизоляционного материала.

Конструкция стены с дополнительным слоем теплоизоляции приведена на рис. 4.

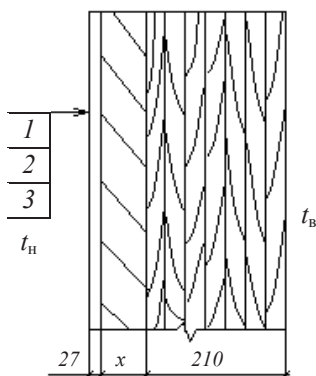


Рис. 4. Конструкция стены из клееного бруса с дополнительной теплоизоляцией:
1 – блок-хаус; 2 – теплоизоляционный слой;
3 – клееный деревянный брус из древесины сосны

Согласно требованиям [1], расчетное сопротивление теплопередаче стены должно быть не менее $2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, т. е. должно выполняться условие:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,27}{0,8} + \frac{X}{0,057} + \frac{0,210}{0,18} + \frac{1}{23} \geq 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Преобразуем приведенное выше выражение для определения толщины дополнительного теплоизоляционного слоя:

$$X = \left(2,5 - \frac{1}{8,7} + \frac{0,027}{0,18} + \frac{0,210}{0,18} + \frac{1}{23} \right) \cdot 0,057 = 0,058 \text{ м}.$$

Принимаем толщину дополнительного теплоизоляционного слоя равной 60 мм.

Конструкция стены с дополнительным слоем теплоизоляции приведена на рис. 5.

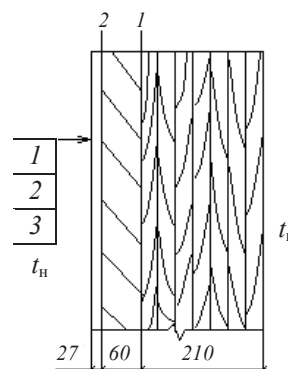


Рис. 5. Конструкция стены из клееного бруса с дополнительным утеплением:

- 1 – блок-хаус; 2 – теплоизоляционный слой;
- 3 – клееный деревянный брус из древесины сосны

Средняя относительная влажность воздуха для клееного деревянного бруса и теплоизоляционного слоя составляет менее 75%, а для и блок-хауса – более 75%. Поэтому производим уточненный расчет сопротивления теплопередаче стены, приняв для клееного деревянного бруса и теплоизоляционного слоя условия эксплуатации А, а для блок-хауса – условия эксплуатации Б.

Сопротивление теплопередаче стены с учетом влажностного режима составляет:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,027}{0,18} + \frac{0,060}{0,051} + \frac{0,210}{0,14} + \frac{1}{23} = 2,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

В соответствии с табл. 5.1 [1] сопротивление теплопередаче данной конструкции стены должно быть не менее $R_{т.норм} = 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, что выполняется, так как $R_{т.у} = 2,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

4. Наружная стена из двойного клееного бруса. Конструкция стены приведена на рис. 6.

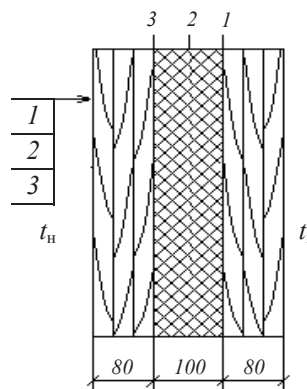


Рис. 6. Конструкция стены из двойного клееного бруса:
1 – клееный деревянный брус;
2 – теплоизоляционный слой;
3 – клееный деревянный брус

При проведении расчета влажностного режима эксплуатации стены было получено, что в сечении 3 влажность равна 108%, что недопустимо при использовании в качестве теплоизоляционного материала минераловатных плит. Поэтому такая конструкция стены не может быть использована. Необходимо либо изменить теплоизоляционный материал, либо внести в конструкцию стены пароизоляционный слой.

5. Наружная стена из двойного клееного бруса со слоем пароизоляции. Конструкция стены приведена на рис. 7.

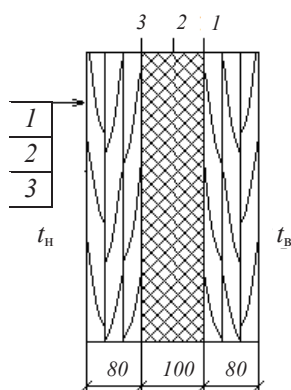


Рис. 7. Конструкция стены из двойного клееного бруса со слоем пароизоляции:

- 1, 4 – клееный деревянный брус;
- 2 – теплоизоляционный слой;
- 3 – пароизоляционный слой

При такой конструкции стены влажность во всех сечениях не превышает 85%.

Средняя относительная влажность воздуха для внутреннего клееного деревянного бруса и теплоизоляционного слоя составляет менее 75%, а для наружного клееного деревянного бруса – более 75%. Поэтому производим уточненный расчет сопротивления теплопередаче стены, приняв для внутреннего клееного деревянного бруса и теплоизоляционного слоя условия эксплуатации А, а для наружного клееного деревянного бруса – условия эксплуатации Б.

Сопротивление теплопередаче стены с учетом влажностного режима составляет:

$$R_{\text{д}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,080}{0,18} + \frac{0,100}{0,039} + \frac{0,080}{0,14} + \frac{1}{23} = 3,74 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

В соответствии с табл. 5.1 [1] сопротивление теплопередаче данной конструкции стены

должно быть не менее $R_{\text{т. норм}} = 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, что выполняется, так как $R_{\text{т. у}} = 3,74 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

Заключение. Произведен расчет теплотехнических характеристик ограждающих конструкций деревянных домов. В качестве объекта исследования выбраны наружные стены различной конструкции, производимые на домостроительных заводах Республики Беларусь. Проанализировав произведенные расчеты, можно сделать следующие выводы:

1. Наружные стены конструкции 1, 2, 5 могут быть использованы при строительстве домов, поскольку сопротивление теплопроводности таких стен превышает нормативное значение $2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

2. Наибольшее сопротивление теплопередаче имеет стена конструкции 1: $R_{\text{т. у}} = 4,33 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, за ней следует стена конструкции 5: $R_{\text{т. у}} = 3,74 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, а стена конструкции 2 занимает третье место с $R_{\text{т. у}} = 2,95 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

3. Стена из клееного бруса толщиной 210 мм (конструкция 3) не может быть использована для строительства домов постоянного проживания. Для такой стены требуется дополнительное утепление. Предложен вариант утепления при помощи теплоизоляционного слоя из минераловатной плиты на деревянном каркасе толщиной 60 мм. При такой конструкции стены сопротивление теплопроводности составляет $R_{\text{т. у}} = 2,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

4. Из-за недопустимого значения влажности в теплоизоляционном слое на основе минеральной ваты применение стены конструкции 4 не рекомендуется.

На момент проведения исследования нормативное сопротивление теплопередаче составляет $R_{\text{т. норм}} = 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, по этому полученные расчетные значения сопротивления теплопередаче сравнивались с этим значением. Однако начиная с 1 июля 2011 г. нормативное сопротивление теплопередаче будет составлять $R_{\text{т. норм.1}} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Сравнив полученные расчетные значения сопротивления теплопередаче с $R_{\text{т. норм.1}}$ видим, что только наружные стены конструкции 1 и 5 превышают это значение и могут использоваться и в будущем. Наружные стены других конструкций требуют утепления.

Литература

1. Строительная теплотехника: СНБ 2.04.01-97. – Введ. 01.05.98. – Минск: М-во архитектуры и строительства РБ, 1998. – 39 с.

Поступила 01.04.2010