

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА СТЕН ОДНОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ ИЗ ЛСТК

Е. В. Куделина, И. В. Харламов

В статье приводятся факторы, влияющие на класс энергоэффективности здания. Приведен один из методов, который может обеспечить повышение тепловой эффективности зданий – применение современных ограждающих конструкций. Предложены варианты ограждающих конструкций стен и выполнена технико-экономическая оценка, с выбором наиболее экономичного варианта.

Ключевые слова: энергосбережение, ЛСТК, термопрофиль, пенобетон, минеральная вата, экструдированный пенополистирол.

Современная экологическая ситуация в мире, которую характеризует глобальный экономический кризис, заставляет задумываться об устойчивости наших городов, поселков, жилой застройки и о типах жилья. «Глобальные проблемы изменения климата, истощение ресурсов нефти, деградация сельскохозяйственных земель, дефицит пресной воды и их последствия уже проявились или появятся в несколько ближайших десятилетий», – говорит американский профессор Д. Медоуз, автор книги «Пределы роста: 30 лет спустя». Для устойчивости системы необходим переход к энергоэффективной экономике. Современное градостроительство и жилищное строительство нуждается в более эффективных технологиях, поэтому в мировой строительной практике появилось направление, получившее название «строительство энергоэффективных зданий» [1].

Цель проектирования и строительства энергоэффективных зданий состоит в более эффективном использовании энергоресурсов, затрачиваемых на энергоснабжение здания, путем применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, а так же приемлемы с экологической и социальной точки зрения [2].

В настоящее время в России в условиях экономического кризиса вопрос повышения энергоэффективности зданий и сооружений очень актуален. Каждый год осуществляется разработка новых норм, правил и законов, направленных на повышение тепловой эффективности оболочки зданий, улучшение систем теплоснабжения, повышение регулируемости поступления тепла и света в помещения. 27 ноября 2009 вступил в силу Федеральный закон № 261ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффек-

тивности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Благодаря данному закону вводятся новые требования по энергоэффективности к зданиям, строениям, сооружениям и др [3].

Главным показателем энергоэффективности здания является класс энергетической эффективности. Класс энергоэффективности здания определяется исходя из величины отклонения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого значения. Расчетное значение удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания должно быть меньше или равно нормируемого значения, чем больше величина отклонения (в %), тем выше класс энергетической эффективности [4,5].

Энергетическая эффективность здания зависит от многих факторов. Приоритетность при выборе энергосберегающих технологий имеют технические решения, одновременно способствующие улучшению микроклимата помещений и защите окружающей среды. При проектировании здания можно выделить архитектурные и инженерные решения.

Архитектурные решения:

- местоположение здания с учётом климатических особенностей, рельефа местности и существующей застройки в районе предполагаемого строительства;
- архитектурно-планировочная концепция здания;
- форма и ориентации здания;
- остекление здания (площадь и расположение проемов) и солнцезащита;
- конструкции материалов и наружной облицовка;
- объемно-планировочные решения;
- схема организации освещения.

Инженерные решения:

- источники теплоснабжения, в том числе возможность использования нетрадиционных источников энергии – солнечных, геотермальных, ветровых и т.д.

- система отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха здания;

- конструкция и материал наружных ограждений;

- система автоматического управления инженерным оборудованием [2].

Одним из методов, который может обеспечить повышение тепловой эффективности зданий, является применение более современных ограждающих конструкций, высокотехнологичных фасадных систем [3].

К таким современным конструкциям можно отнести тонкостенные профили из оцинкованной стали. За последнее время в России и за рубежом значительно возрос интерес к легким стальным тонкостенным конструкциям (ЛСТК), широко используемым в промышленном и гражданском строительстве. Объем применения ЛСТК в России составляет 900 тыс. в год, что свидетельствует о создании новой отечественной отрасли строительной продукции, в которой представлены разработка, изготовление и монтаж конструкций с применением тонкостенных гнутых профилей из оцинкованной стали. Объем применения ЛСТК в США и Великобритании составляет соответственно 6 и 3,5 млн. в год. Одна из основных областей применения ЛСТК – возведение жилых малоэтажных зданий, коттеджей и мансард (рисунок 1) [6].

Целью данной работы является разработка конструкций стен из ЛСТК с высокими теплоизоляционными свойствами и выявление наиболее экономичного варианта.



Рисунок 1 – Каркас жилого дома из ЛСТК

Для рассмотрения вариантов конструкции стены был запроектирован одноэтажный жилой дом. В качестве исходных климатических данных выбраны климатические условия г. Барнаула, Алтайского края. Климатические параметры приняты согласно [5,7,8].

Климатические параметры:

Расчетная температура наружного воздуха $t_n = -36^{\circ}\text{C}$;

Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{om} = -7,5^{\circ}\text{C}$;

Продолжительность отопительного периода $Z_{om} = 213$ сут;

Градусо-сутки отопительного периода $ГСОП = 5\ 857,5^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$;

Расчетная температура внутреннего воздуха $t_b = 20^{\circ}\text{C}$.

Граничные условия принимаем из условий эксплуатации стены:

- коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода $\alpha_{ext} = 23$ Вт/м²·°C [9].

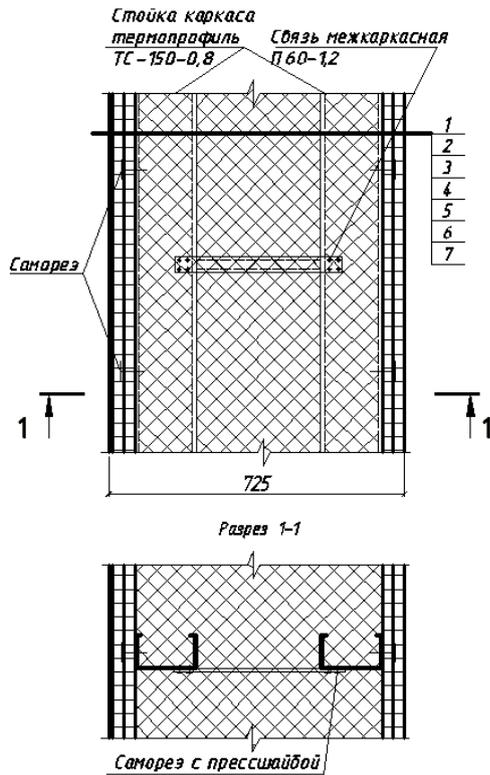
- коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций $\alpha_{int} = 8,7$ Вт/м²·°C [5].

На основании полученных исходных данных рассчитываем базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции одноэтажного жилого дома. Для наружных стен требуемое сопротивление теплопередачи составляет $R_{o}^{TP} = 3,45$ (м²·°C)/Вт [5].

Чтобы повысить тепловую энергоэффективность здания необходимо избежать теплотери через стены, поэтому предлагается увеличить сопротивление теплопередачи до 7 м²·°C/Вт. В целях достижения данного сопротивления были рассмотрены 3 варианта исполнения стен на основе номенклатуры холоднодеформируемых профилей из ЛСТК:

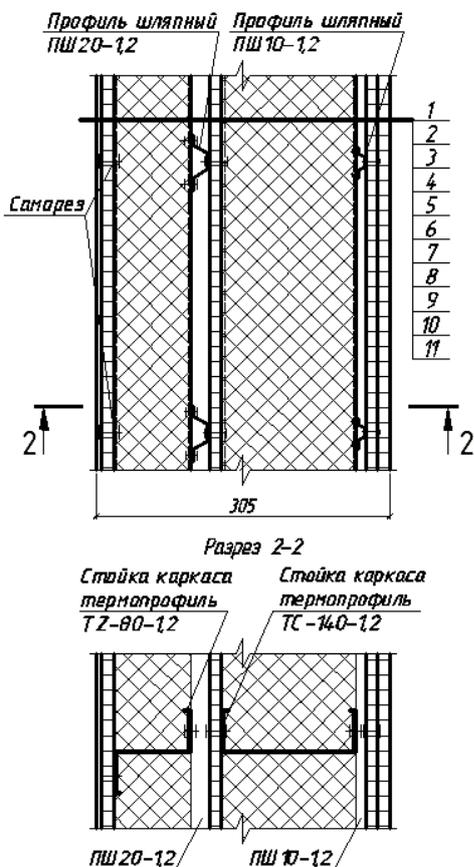
Вариант 1 – монолитный утеплитель. Внутреннюю опалубку составляет листовой отделочный материал. Наружная опалубка – вспомогательный каркас в качестве несъемной опалубки и монолитный пенобетон. Общая толщина стены 725 мм, приведенное сопротивление теплопередачи – 7,01 м²·°C/Вт (рисунок 2) [10,11].

Вариант 2 – утепление конструкции стены минеральной ватой. Общая толщина стены 305 мм, приведенное сопротивление теплопередачи – 6,99 м²·°C/Вт (рисунок 3) [12].



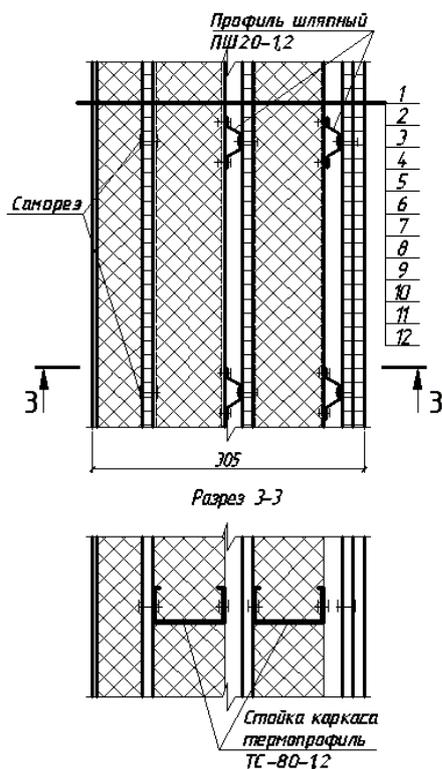
1 – наружная облицовка – известково-гипсовая штукатурка, толщиной 5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,70$ Вт/м \cdot °С; 2 – цементная плита наружная Аквапанель, толщиной 12,5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,36$ Вт/м \cdot °С; 3 – КНАУФ-лист огнестойкий (ГКЛО), толщиной 12,5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,35$ Вт/ м \cdot °С; 4 – утеплитель – монолитный пенобетон D300, толщиной 670 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,1$ Вт/ м \cdot °С; 5 – КНАУФ-лист огнестойкий (ГКЛО), толщиной 12,5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,35$ Вт/ м \cdot °С; 6 – Tyvek – супердиффузная мембрана, толщиной 0,02 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,013$ Вт/ м \cdot °С; 7 – КНАУФ-лист огнестойкий (ГКЛО), толщиной 12,5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,35$ Вт/ м \cdot °С

Рисунок 2 – Конструкция наружной стены, утепленная монолитным пенобетоном



1 – наружная облицовка – известково-гипсовая штукатурка, толщиной 5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,704$ Вт/м \cdot °С; 2 – аквапанель, толщиной 12,5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,307$ Вт/м \cdot °С; 3 – Tyvek – супердиффузная мембрана, толщиной 0,02 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,013$ Вт/ м \cdot °С; 4 – утеплитель – минеральная вата, толщиной 80 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,037$ Вт/ м \cdot °С; 5 – камера неветилируемая, толщиной 20 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,111$ Вт/ м \cdot °С; 6 – гипсоволокнистый лист повышенной прочности (ГВЛП) Rigidur, толщиной 12 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,202$ Вт/м \cdot °С; 7 – утеплитель – минеральная вата, толщиной 140 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,034$ Вт/м \cdot °С; 8 – камера неветилируемая, толщиной 10 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,067$ Вт/ м \cdot °С; 9 – гипсокартонный лист, толщиной 12,5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,210$ Вт/м \cdot °С; 10 – Tyvek – супердиффузная мембрана, толщиной 0,02 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,013$ Вт/ м \cdot °С; 11 – гипсокартонный лист, толщиной 12,5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,210$ Вт/м \cdot °С

Рисунок 3 – Конструкция наружной стены, утепленная минеральной ватой



- 1 – наружная облицовка – известково-гипсовая штукатурка, толщиной 5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,704 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$;
- 2 – экструдированный полистирол, толщиной 50 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,032 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$;
- 3 – аквапанель, толщиной 12,5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda_A=0,308 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$;
- 4 – Тувек – супердиффузная мембрана, толщиной 0,02 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,013 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$;
- 5 – утеплитель – минеральная вата, толщиной 80 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,037 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$;
- 6 – камера неветилируемая, толщиной 20 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,111 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$;
- 7 – гипсоволокнистый лист повышенной прочности (ГВЛП) Rigidur, толщиной 12 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,202 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$;
- 8 – утеплитель – минеральная вата, толщиной 80 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda_A=0,034 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$;
- 9 – камера неветилируемая, толщиной 20 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,111 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$;
- 10 – гипсокартонный лист, толщиной 12,5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,21 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$;
- 11 – Тувек – супердиффузная мембрана, толщиной 0,02 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,013 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$;
- 12 – гипсокартонный лист, толщиной 12,5 мм, коэффициент теплопроводности $\lambda=0,21 \text{ Вт/ м} \cdot \text{°C}$

Рисунок 4 – Конструкция наружной стены, утепленная минеральной ватой и экструдированным пенополистиролом

Вариант 3 - утепление конструкции стены минеральной ватой и экструдированным пенополистиролом. Общая толщина стены 305 мм, приведенное сопротивление теплопередачи – $6,83 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ (рисунок 4) [12].

По данным теплотехнического расчета выполнением технико-экономическую оценку вариантов:

Вариант 1 - монолитный утеплитель пенобетон D300 – $5310,5 \text{ руб./м}^2$. В удельную стоимость входит:

- стоимость материалов – $3697,5 \text{ руб./м}^2$;
- профиль стоечный ПС-150-0,8 шаг 600 (2шт.) – 512 руб.;
- связь межкаркасная П60-1,2 шаг 3000 – 20 руб.;
- монолитный пенобетон D300 – 1742 руб.;
- известково-гипсовая штукатурка – 137,2 руб.;
- аквапанель – 833,3 руб.;
- ГКЛО (3 слоя) – 369 руб.;
- пароизоляция Тувек – 84 руб.;

- строительные-монтажные работы – 1613 руб./м^2 ;
- изготовление и монтаж каркаса из ПС-профиля – 23 руб.;
- установка связи межкаркасной – 10 руб.;
- укладка монолитного пенобетона D300 – 709 руб.;
- устройство штукатурного фасада – 233 руб.;
- облицовка ГКЛО (3 слоя) и аквапанелью – 580 руб.;
- укладка пароизоляции Тувек – 58 руб.

Вариант 2 - утепление конструкции стены минеральной ватой – $4998,5 \text{ руб./м}^2$:

- стоимость материалов – $3106,54 \text{ руб./м}^2$;
- профиль стоечный ПС 80-0,8 шаг 600 (1 шт.) – 204,8 руб.;
- профиль стоечный ПС 140-0,8 шаг 600 (1 шт.) – 256 руб.;
- профиль шляпный ПШ 10-0,8 шаг 600 (1 шт.) – 45,7 руб.;
- профиль шляпный ПШ 20-0,8 шаг 600 (1 шт.) – 91,4 руб.;
- известково-гипсовая штукатурка – 137,2 руб.;
- аквапанель – 833,33 руб.;
- Тувек (2 слоя) – 168 руб.;
- минеральная вата (2 слоя) – 446,11 руб.;
- ГВЛП Rigidur – 700 руб.;
- ГКЛО (2 слоя) – 224 руб.;

- строительные-монтажные работы – 1892 руб./м^2 ;
- изготовление и монтаж каркаса из ПС-профиля – 41 руб.;
- изготовление и монтаж каркаса из ПШ-профиля – 72 руб.;
- облицовка ГКЛО (2 слоя), аквапанелью и ГВЛП Rigidur - 580 руб.;
- укладка минеральной ваты – 850 руб.;
- устройство штукатурного фасада – 233 руб.;
- укладка пароизоляции Тувек (2 слоя) – 116 руб.

Вариант 3 – утепление конструкции стены минеральной ватой и экструдированным пенополистиролом $5025,51 \text{ руб./м}^2$:

- стоимость материалов – $3134,51 \text{ руб./м}^2$;
- профиль стоечный ПС 80-0,8 шаг 600 (2 шт.) – 409,6 руб.;
- профиль шляпный ПШ 20-0,8 шаг 600 (2 шт.) – 91,4 руб.;
- известково-гипсовая штукатурка – 137,2 руб.;
- аквапанель – 833,3 руб.;
- минеральная вата (2 слоя) – 324,44 руб.;
- экструдированный пенополисти-

рол – 246,53 руб.; ГВЛП Rigidur – 700 руб.; Тувек (2 слоя) – 168 руб.; ГКЛО (2 слоя) – 224 руб.,

- строительно-монтажные работы – 1891 р./м²: изготовление и монтаж каркаса из ПС-профиля – 82 руб.; изготовление и монтаж каркаса из ПШ-профиля – 72 руб.; облицовка ГКЛО (2 слоя), аквапанелью и ГВЛП Rigidur – 580 руб.; установка утеплителя – 808 руб.; установка штукатурного фасада – 233 руб.; укладка Тувек (2 слоя) – 116 руб.

Стоимость 1 м² на 1 единицу приведенного сопротивления теплопередачи равна:

вариант-1 – 757,56 руб.,

вариант-2 – 714,37 руб.,

вариант-3 – 736,87 руб.

По результатам технико-экономической оценки получен наиболее экономичный вариант конструкции стен – применение каркаса стены с утеплением минеральной ватой (вариант 2).

Каркасные здания являются не только быстровозводимыми, но и самыми энергоэффективными по сравнению с другими технологиями строительства. Применение каркасных технологий обусловлено более высокими требованиями к уровню тепловой защиты наружных ограждающих конструкций. Для обеспечения этих требований необходимо заложить соответствующую толщину утеплителя. Наиболее оптимально это может быть реализовано в каркасных домах.

В дальнейшей работе планируется рассмотреть вопросы, связанные с конструированием и детальной проработкой конструктивных узлов, разработкой методики эксперимента и исследованием температурно-влажностного режима стены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медоуз, Д. Пределы роста. 30 лет спустя / Д. Медоуз, Й. Рандерс. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 342 с.

2. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.

3. Вилинская, А. О. Повышение класса энергоэффективности общественного здания / А. О. Вилинская, Д. В. Немова, Е. И. Давыдова, П. А. Гнам // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 9 (36). – С. 7-17.

4. Филиппов А. М. Класс энергоэффективности жилых зданий: теория и практика / А. М. Филиппов // Энергосбережение. – 2011. – № 4. – С.23-30.

5. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.

6. Павлов А. Б. Быстровозводимые малоэтажные жилые здания с применением легких стальных тонкостенных конструкций / А. Б. Павлов, Э. Л. Айрумян, С. В. Камынин, Н. И. Каменщиков // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 9. – С.51-53

7. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменением N 2).

8. СП 55.13330.2011 Дома жилые одноквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-02-2001.

9. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.

10. Махныткин, А. А. Выбор рационального конструктивного решения малоэтажного здания с применением ЛСТК, соответствующего критерию пассивного дома / А. А. Махныткин, И. В. Харламов // Материалы Междунар. научно-технич. конф. – Пенза, 2013. – С.108-117.

11. KNAUF [Электронный ресурс], 2011.- Режим доступа: <http://www.knauf.ru/index.wbp>.

12. Presentazione all'interno del convegno "Progettare, costruire ed abitare sostenibile" tenutosi a Roma, sull'argomento "Un nuovo metodo costruttivo con profili leggeri" [Электронный ресурс], 2014. – Режим доступа: <http://www.steelmax.it/wp-content/uploads/2014/12/Presentazione-Roma-2014.pdf>

Куделина Е.В. – магистрант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: kudelinakatya94@mail.ru.

Харламов И.В. – к.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова E-mail: hiv@mail.altstu.ru.