

## Энергетическая эффективность домов из ЛСТК

### Power efficiency of houses from light-gauge steel structures

**студент Орлова Анна Владимировна**

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*  
+7 (953)166 2586; [anna.08.85@mail.ru](mailto:anna.08.85@mail.ru)  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация

**Student Anna Vladimirovna Orlova**

*Saint-Petersburg State Polytechnical University*  
+7 (953)166 2586; [anna.08.85@mail.ru](mailto:anna.08.85@mail.ru)  
Saint-Petersburg  
Russian Federation

**Жмарин Евгений Николаевич**

*исполнительный директор*  
*НП «Международная ассоциация легкого стального строительства»*  
+ 7 (921) 914 9196  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация

**Evgeniy Nikolayevich Zhmarin**

*CEO of non-commercial partnership "International association of light-gauge steel construction"*  
+ 7 (921) 914 9196  
Saint-Petersburg  
Russian Federation

**Парамонов Кирилл Олегович**

*специалист по энергоэффективности в строительстве*  
*ООО «Сен-Гобен Строительная Продукция Рус»*  
+7 (917) 548 6536; [Kirill.Paramonov@saint-gobain.com](mailto:Kirill.Paramonov@saint-gobain.com)  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация

**Kirill Olegovich Paramonov**

*Specialist in Energy Efficient Construction*  
*JSC "Saint-Gobain"*  
+7 (917) 548 6536; [Kirill.Paramonov@saint-gobain.com](mailto:Kirill.Paramonov@saint-gobain.com)  
Saint-Petersburg  
Russian Federation

**Ключевые слова:** энергосбережение, ЛСТК, экология, теплоизоляция, термопрофиль.

Энергосбережение является актуальной темой в наши дни, которая охватывает и истощаемость запасов органического топлива, и вопросы связанные с экологической обстановкой, но, главной причиной необходимости коренного пересмотра отношения к энергосбережению в России, является чрезмерно высокая энергоемкость ВВП, которая делает национальную экономику неэффективной и ставит под сомнение реализацию высоких темпов роста ВВП, запланированных до 2020 г.

В статье предложен способ решения данной проблемы на примере нового направления в строительной индустрии – энергоэффективного строительства, подразумевающего под собой разработку эффективных технологических и иных мероприятий, направленных на рационализацию процессов использования энергетических ресурсов на всех этапах строительного производства.

Мы поставили своей задачей на примере типового коттеджа эконом-класса с наиболее востребованной площадью 120 м<sup>2</sup> (проект «Репино») определить его параметры энергоэффективности в соответствии со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» и оценить мероприятия по повышению класса энергоэффективности.

**Key words:** energy saving, light-gauge steel construction, ecology, thermal insulation, thermoprofile.

Energy conservation is a hot topic these days, which covers and exhaustion of fossil fuel reserves, and the issues related to environmental conditions, but the main reason for a radical revision of the relationship to energy conservation in Russia is extremely high energy intensity, which makes the national economy inefficient and poses a questioned the implementation of the high GDP growth planned to 2020.

In this paper, a method to solve this problem on the example of a new trend in the construction industry - energy-efficient construction, implies a development of effective technological and other measures aimed at streamlining the process of using energy resources at all stages of the construction industry.

We have made it our task to a typical example of a cottage economy class with the most demanded area of 120 m<sup>2</sup> (project "Repin") to determine the energy efficiency of its parameters in accordance with SNIP 23-02-2003 "Thermal protection of buildings" and to evaluate measures to improve the energy efficiency class.

## 1. Введение

Главным побудительным мотивом к энергосбережению является, несомненно, истощаемость запасов органического топлива. Оценки показывают, что при уровне добычи 90-х годов мировых запасов угля хватит на 1500 лет, нефти — на 250 и газа — на 120 лет. Другой подход, учитывающий ископаемые с приемлемой стоимостью извлечения, дает иные, но того же порядка, цифры: для угля — 600 лет, нефти — 150 лет, газа — 300 лет. В России сосредоточено 20 % мировых запасов органического топлива при численности населения всего 2,3 % от мировой. Но по недавним официальным сообщениям доказанных запасов газа хватит на 80 лет, а нефти — всего на 20. [1, 2]

Другой мотив к энергосбережению связан с вопросами энергетической безопасности, которая характеризуется способностью топливно-энергетического комплекса (ТЭК) удовлетворять спрос на энергоносители и устойчивостью ТЭК к различного рода негативным воздействиям [9]. Очевидно, при возможном дефиците энергии одной из важнейших составляющих энергетической безопасности является эффективное использование энергоресурсов. До 50 % доходов от экспорта Россия имеет благодаря продаже за рубеж газа и нефти. В этом смысле экономика России является сильно зависимой от спроса и тарифов на энергоносители.

Экология — следующий фактор, побуждающий к снижению потребления органического топлива. В большинстве стран установлены жесткие нормативы на выбросы вредных веществ, образующихся при сжигании органического топлива. Прежде всего, это пыль, окислы азота, серы и углерода. Особая ситуация складывается с углекислым газом, который относится к парниковым газам. Согласно Киотскому протоколу, к которому присоединилось уже достаточное количество государств, каждый участник должен ограничить среднегодовой выброс парниковых газов в расчетный период 2008–2012 гг. уровнем выбросов 1990 г. [1, 2]

Но, главной причиной необходимости коренного пересмотра отношения к энергосбережению в России, является чрезмерно высокая энергоемкость ВВП, которая делает национальную экономику неэффективной и ставит под сомнение реализацию высоких темпов роста ВВП, запланированных до 2020 г. В 2000 г. энергоемкость ВВП России в 3,2 раза была выше по сравнению с аналогичным показателем ЕС, в 2,2 раза — США и 3,6 раза — Японии. [1, 2]

Вполне разумным и логичным выходом из сложившейся ситуации стало развитие нового направления в строительной индустрии – энергоэффективного строительства, подразумевающего под собой разработку эффективных технологических и иных мероприятий, направленных на рационализацию процессов использования энергетических ресурсов на всех этапах строительного производства. В результате, в ряде стран были созданы рейтинговые системы оценки экологически чистого и устойчивого развития, оценивающие строительные объекты по критериям экологического менеджмента: экономного использования электроэнергии и воды, качества внутреннего микроклимата и строительных материалов, рационального использования земли, оптимального выбора земельного участка, объема выбросов парниковых газов в атмосферу и уровня транспортного загрязнения [3 - 8]. Энергосбережение из разряда желаемых мероприятий переходит в разряд необходимого условия, только при выполнении которого возможны высокие темпы развития экономики РФ.

## 2. Обзор литературы

Экспертные оценки показывают, что Россия обладает гигантским потенциалом энергосбережения — более 40 % от общего энергопотребления (400–500 млн т у. т. в год). Одна треть потенциала сосредоточена в отраслях ТЭК, другая треть — в промышленности и стройиндустрии, и четверть — в ЖКХ. [1,2]

Подавляющая часть теплопотерь в зданиях происходит через стены, окна и за счет вентиляции. Поэтому при строительстве следует строго выдерживать новые нормы по теплоизоляции, разрабатывать

и применять новые материалы и утеплители. Для окон необходимо применять двойное и тройное остекление, а также теплосберегающие оптически прозрачные покрытия, которые требуют еще значительных научных проработок [9]. Громадная проблема с вентиляцией. При преобладающей роли приточно-вытяжной системы происходят огромные теплопотери, особенно во вредных и химических производствах (до 60 %). Поэтому крайне актуален вопрос создания вентиляционных систем с рекуперацией тепла и влаги. То же касается систем кондиционирования [11]. Особняком стоит проблема энергоэффективного индивидуального жилья (коттеджи, сельские дома). Здесь проблемы и учета (который экономически нецелесообразен для изолированных небольших объектов), и автономных энергоисточников, и увеличенных теплопотерь по сравнению с многоквартирными домами. Зато многое здесь можно решать нетрадиционными путями, в чем кроются большие и неожиданные перспективы [2, 9].

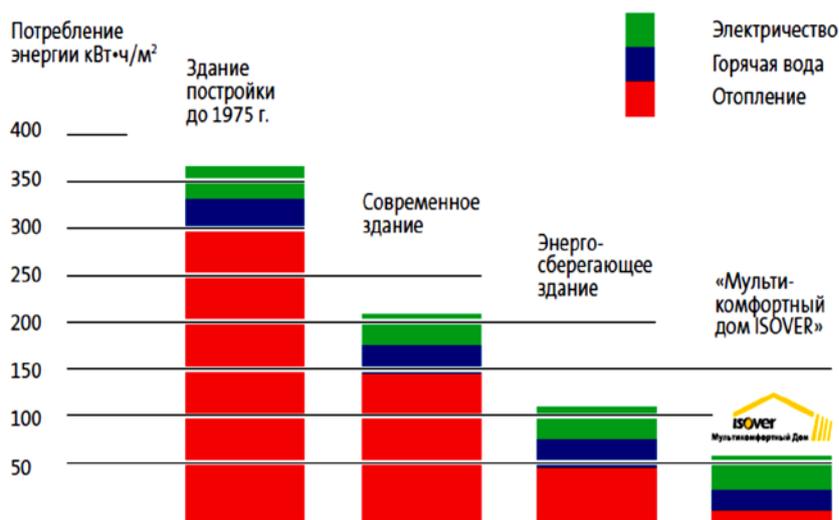


Рис.1. Удельный расход тепловой энергии на отопление [12]

Каковы же перспективы использования технологии пассивного дома в России? Они огромны. Сегодня большинство зданий в России значительно отстают по энергоэффективности от европейских стандартов.

Кроме того, в идее пассивного дома заложены мощные природосберегающая и экологическая составляющие. С помощью применения новых технологий и чистых экологических материалов пассивный дом сохраняет здоровье человека и не представляет угрозы для окружающей среды. В странах Европы всего за 15 лет существования идеи пассивного дома построено более 16 000 домов и их количество с каждым годом растет [2].

	<i>Постройки 1950–1970 годов:</i>	<i>Действующие стандарты</i>	<i>Энергоэффективный дом. Норма в 2010 г.</i>	<i>Пассивные дома или здания с положительным энергобалансом</i>
Удельный расход тепловой энергии на отопление	кВт·ч/м <sup>2</sup> ·год 300–250	кВт·ч/м <sup>2</sup> ·год 150–100	кВт·ч/м <sup>2</sup> ·год 50–40	кВт·ч/м <sup>2</sup> ·год ≤ 15
Эмиссия CO <sub>2</sub>	60 кг/м <sup>2</sup> ·год	30 кг/м <sup>2</sup> ·год	10 кг/м <sup>2</sup> ·год	3 кг/м <sup>2</sup> ·год
Литры жидкого топлива	30–25 л	15–10 л	4–5 л	≤ 1,5 л

Рис. 2. Расход энергии домов Эмиссия CO<sub>2</sub> в зданиях различных лет постройки [13]

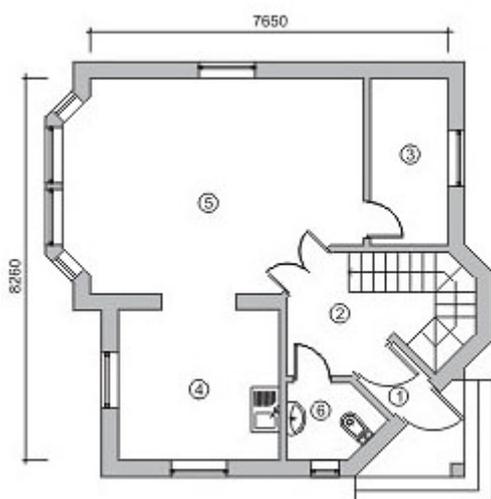
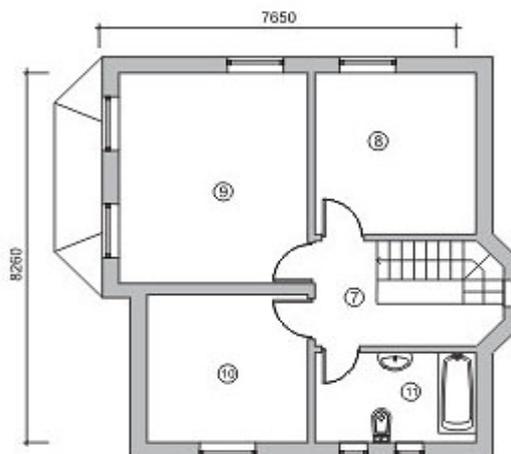
Строительство пассивного дома даже в средней полосе, не говоря про Сибирь или крайний Север, вряд ли будет эффективным по соотношению «затраченные усилия - полученный результат». Там, где мороз за сорок нормальное явление, сложно себе представить дом без системы отопления. Но построить в наших климатических условиях **энергосберегающий дом можно и даже необходимо!**

### 3. Постановка задачи

Мы поставили своей задачей на примере типового коттеджа эконом -класса с наиболее востребованной площадью 120 м<sup>2</sup> (проект «Репино») определить его параметры энергоэффективности в соответствии со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» и оценить мероприятия по повышению класса энергоэффективности.

### 4. Параметры энергоэффективности типового дома из ЛСТК

Компанией «Сен-Гобен Строительная продукция Рус» был рассчитан типовой дом «Репино» с металлокаркасом из легких стальных тонкостенных оцинкованных профилей и предложены решения по сокращению удельного потребления энергии на отопление здания.



Номер	Наименование помещения	Площадь м2
1	Тамбур	1.20
2	Холл первого этажа	8.90
3	Подсобное помещение	5.97
4	Кухня-столовая	11.80
5	Гостиная	27.95
6	Санузел первого этажа	2.96
Итого по первому этажу		58.78
7	Холл второго этажа	9.18
8	Спальня	12.46
9	Спальня	19.08
10	Спальня	11.40
11	Санузел второго этажа	6.93
Итого по второму этажу		59.05
Общая площадь		117.83

Рис. 3. Проект типового дома «Репино». Раздел АР рабочего проекта коттеджа «Репино», ООО «БалтПрофиль»

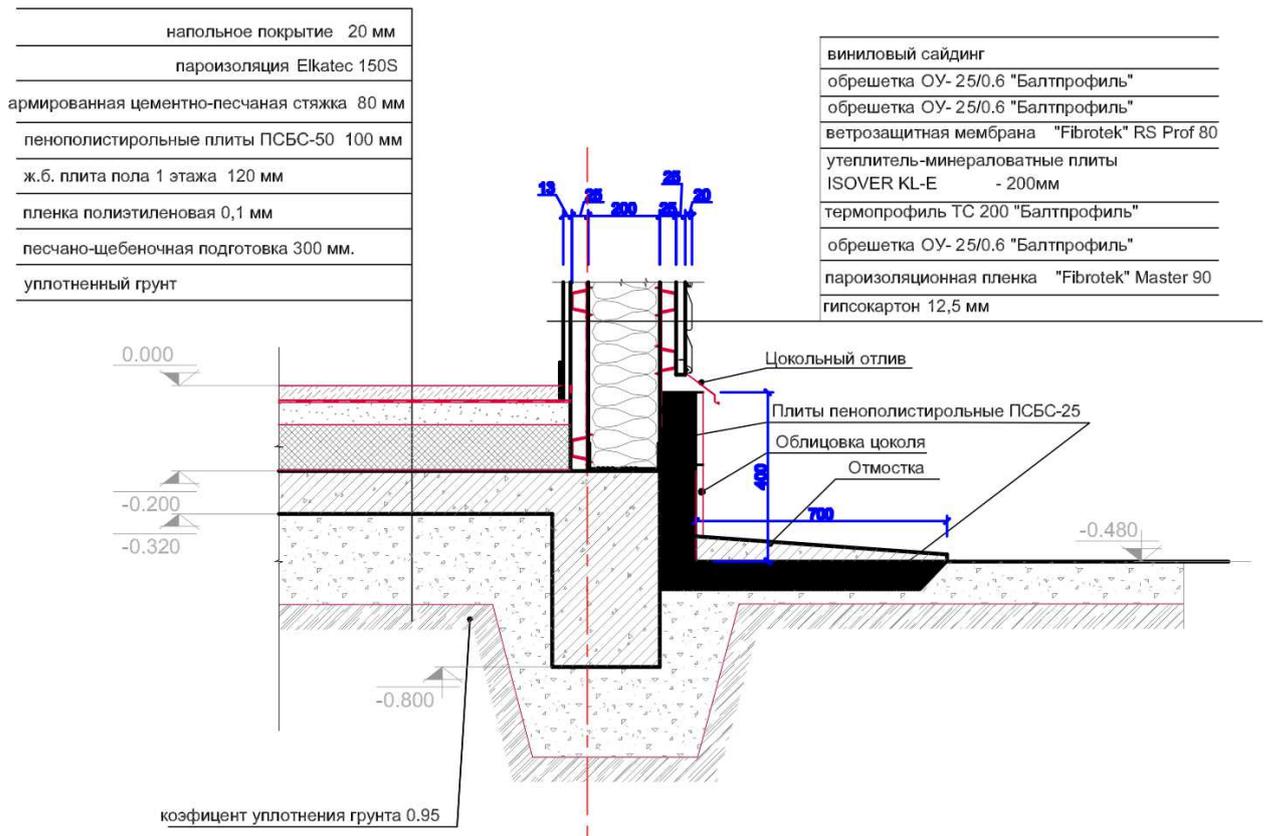


Рис. 4. Конструкция стены и пола первого этажа. Раздел АР рабочего проекта коттеджа «Репино», ООО «БалтПрофиль»

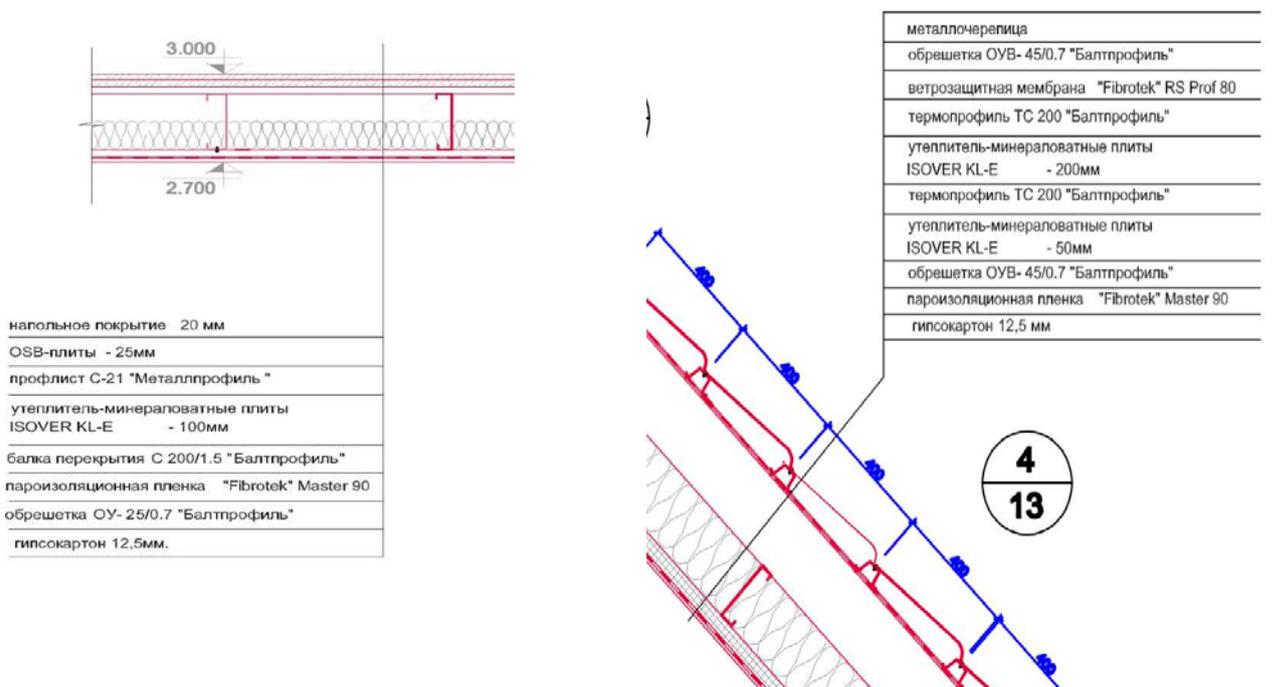
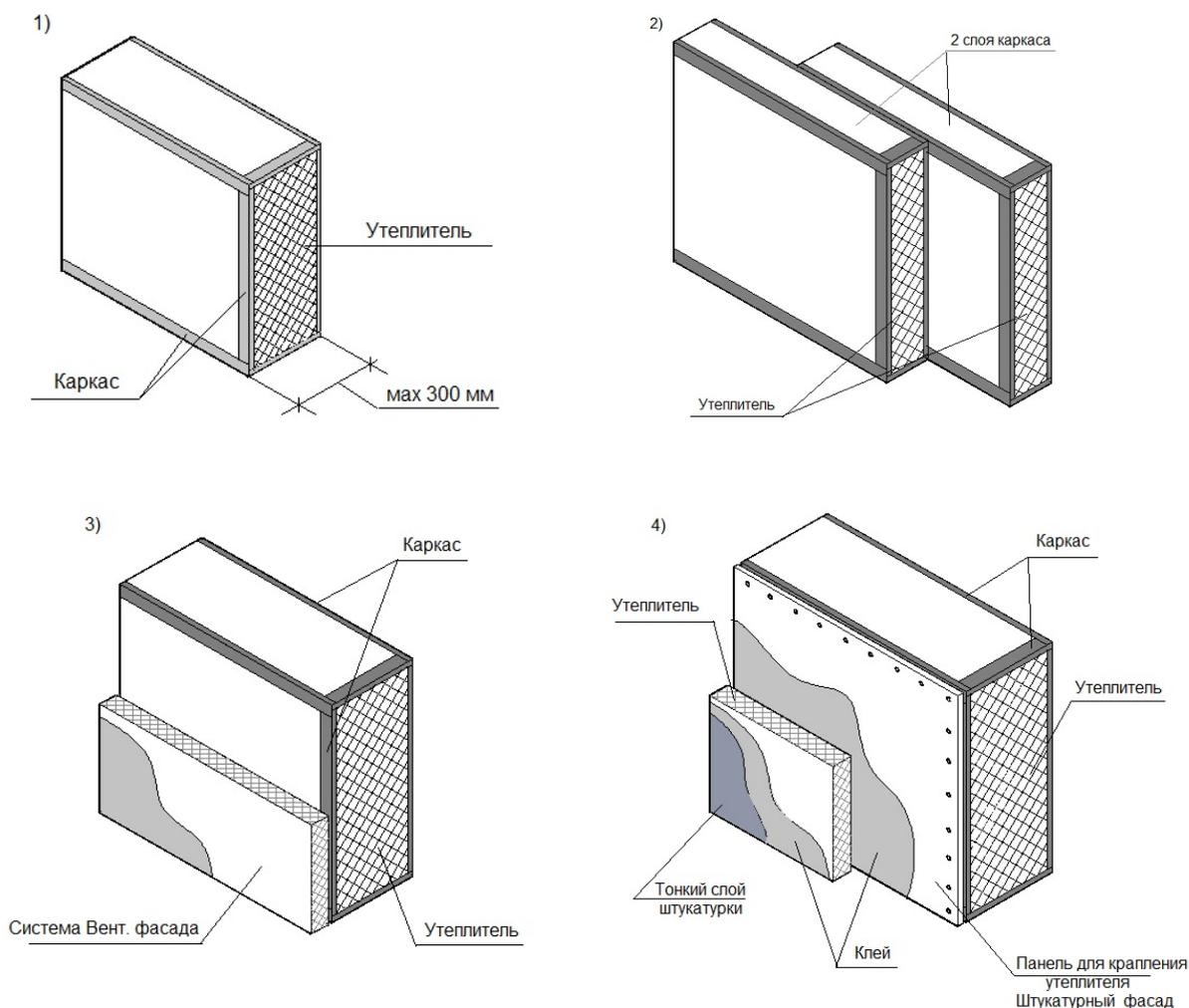


Рис. 5. Конструкция перекрытия и теплой кровли. Раздел АР рабочего проекта коттеджа «Репино», ООО «БалтПрофиль»

Был выбран один из продаваемых, архитектурно не сложных, компактных домов и произведен оценочный расчет энергоэффективности типового дома «Репино» по СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита

зданий». Видом энергоносителя выбрано электричество, поэтому данный дом можно строить в любом регионе России, вне зависимости от сложности с проведением газа на участок, что так же сокращает расходы на подключение дома к газу. Класс энергоэффективности типового дома «В» Высокий, а годовое потребление дома составляет  $Q_{hdes} = 122 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / \text{м}^2$  для Санкт-Петербурга. [14] Заполнение каркаса дома предполагалось теплоизоляцией ИзOVER Каркас П37, стена 200 мм,  $R = 3,165 \text{ (м}^2\cdot\text{°C/Вт)}$ ; кровля 250 мм,  $R = 3,92 \text{ (м}^2\cdot\text{°C/Вт)}$ ; пол эркера 100 мм,  $R = 1,8 \text{ (м}^2\cdot\text{°C/Вт)}$ ; Окна  $R = 0,58 \text{ (м}^2\cdot\text{°C/Вт)}$ ; Дверь  $R = 1,06 \text{ (м}^2\cdot\text{°C/Вт)}$ ;

После расчета дома в первоначальном виде, были предложены 4 варианта дополнительного утепления:



**Рис. 6. Варианты дополнительного утепления каркаса. Отдел энергоэффективности в строительстве ООО"Сен-Гобен Строительная Продукция Рус"**

1. увеличить теплоизоляционный слой в каркасе,
2. добавить второй слой каркаса,
3. на исходный каркас дома крепить дополнительное утепление системой Вент-фасад,
4. на исходный каркас дома крепить дополнительное утепление системой Штукатурный фасад.

Из всех вариантов был выбран первый вариант с увеличением толщины каркаса и теплоизоляции с 200 до 300мм (однослойный вариант), как самый дешевый. Если нужно еще больше усилить теплозащитные свойства, тогда будет использоваться второй предложенный вариант в два каркаса с перекрытием одного слоя другим в шахматном порядке, для снижения влияния мостов холода, как точечных, так и линейных.

Так же в выбранном первом варианте заменена теплоизоляция ISOVER Каркас-П37 на теплоизоляцию с улучшенными характеристиками ISOVER Каркас-П32:  $\lambda_B=0,037$  Вт·м/К, замена стеклопакетов и двери на более энергоэффективные, замена теплоизоляции пола на более энергоэффективную. После принятых изменений дом потребляет  $Q_{hdes} = 84$  кВт·ч /м<sup>2</sup> в год, класс энергоэффективности «А» Очень высокий.

Заполнение каркаса проработанного дома класса «А» теплоизоляцией ISOVER Каркас-П32, стена 300 мм,  $R= 5,41$  (м<sup>2</sup>·°С/Вт); кровля 300 мм,  $R= 5,41$  (м<sup>2</sup>·°С/Вт); пол эркера 300 мм,  $R= 6,41$  (м<sup>2</sup>·°С/Вт); Окна  $R= 0,8$  (м<sup>2</sup>·°С/Вт); Дверь  $R= 1,4$  (м<sup>2</sup>·°С/Вт).

Была просчитана экономическая целесообразность принятых мер по энергоэффективности, удорожание составило 15%, стоимость дома увеличилась с 2,800,000 до 3,300,000 руб. (без учета удорожания цен на электроэнергию).

**Таблица 1 Расчет удорожания и окупаемости. Отдел энергоэффективности в строительстве ООО"Сен-Гобен Строительная Продукция Рус"**

Расчет удорожания и окупаемости		
общее удорожание по принятым мероприятиям	489.100	руб.
потребление электроэнергии:		
стандарт	121.87	кВтч/м <sup>2</sup>
энергоэффективный	84.14	
площадь	117.83	м <sup>2</sup>
стоимость электроэнергии СПб. Для эл.плит	1.96	руб.
переводной коэф. электроэн. в тепловую	3.6	
стоимость отопл. в год		
станд. вариант	101.323.75	руб/год
ЭЭ вариант	69.954.71	
разница	31.369.042	руб/год
<b>Окупаемость</b>	<b>15.59 года</b>	

Стоимость дома		Удорожание	
<b>3,301,000</b>	ЭЭ	14.82	%
<b>2,812,000</b>	стандарт		

Также был произведен расчет удорожания объекта с учетом удорожания тарифов на электроэнергию по прогнозу цен – удорожание сократилось до 11,5 лет.

Таблица 2. Расчет удорожания объекта с учетом удорожания тарифов на электроэнергию.  
Отдел энергоэффективности в строительстве ООО "Сен-Гобен Строительная Продукция Рус"

Общее удорожание с ростом тарифов												
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
цена	1.96	2.36 0828	2.61 1345	2.69 3658	2.68 5307	2.70 2009	2.71 871	2.76 2848	2.89 4072	3.04 4264	3.20 225	3.36 8435
На скол ько		1.20 4504	1.10 6114	1.03 1521	0.99 69	1.00 6219	1.00 6181	1.01 6235	1.04 7496	1.05 1896	1.05 1896	1.05 1896
цена для поста вщик ов	1643	1979	2189	2258	2251	2265	2279	2316	2426			
разни ца	3136 9.04	3778 4.14	4179 3.57	4311 0.95	4297 7.31	4324 4.6	4351 1.9	4421 8.32	4631 8.5	4872 2.26	5125 0.77	5391 0.49
руб/г од												
				<b>Окупаемость 11.3 года</b>			разница в эксплуат.стоимости			4743 01.4	5282 11.8	
							окупится при значении выше			489099.894		

Дальнейшие перспективы повышения энергоэффективности:

Выбор другого варианта утепления: перекрытие каркаса вторым слоем с утеплителем, для повышения теплозащитных свойств, однородности и перекрытия мостов холода

- Замена окон и дверей на еще более энергоэффективные [15,16].

Но это повлечет за собой:

- снижение затрат на отопление - удорожание проекта;
- повышение герметичности оболочки здания;
- необходимость в механической вентиляции.

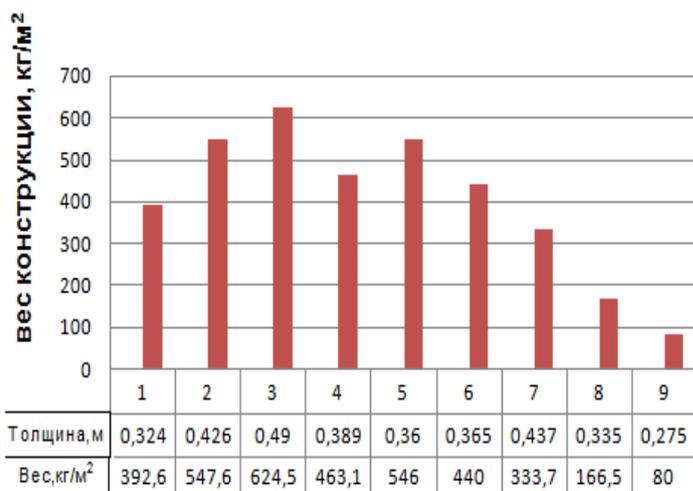
## 5. Концепция ЛСТК

Каркасные здания являются не только быстровозводимыми, но и самыми энергоэффективными по сравнению с другими технологиями строительства, например, каменными или деревянными домами [12, 17]. Применение каркасных технологий обусловлены более высокими требованиями к уровню тепловой защиты наружных ограждающих конструкций (стен, окон, покрытий, дверей и т.д.). Для обеспечения этих требований необходимо заложить соответствующую толщину утеплителя [14]. Наиболее оптимально это может быть реализовано именно в каркасных домах.

В таких зданиях, кроме прочего, наиболее эффективно могут быть реализованы энергосберегающие инженерные системы, такие как автоматическое регулирование параметров микроклимата, а при требуемой герметичности ограждающих конструкций и приточно-принудительной системы механической вентиляции с рекуперацией вытяжного воздуха.

Особенностью каркасного дома является разделение функций несущей и ограждающей конструкций. Несущие функции выполняет каркас, ограждающие берет на себя утеплитель в комбинации с ветро- гидро- и парозащитными материалами. Благодаря такому распределению ролей каркасный дом проще сделать теплым, чем, например, кирпичный или брусовой. Достаточно увеличить толщину слоя утеплителя, не наращивая «мощности» несущей конструкции [9, 16].

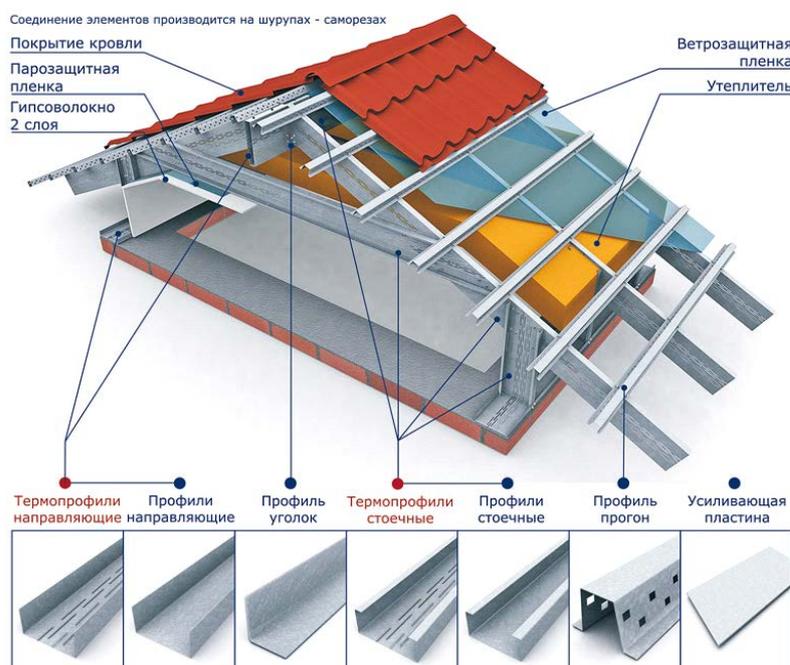
Ниже приведен сравнительный анализ весогабаритных характеристик ограждающих конструкций с равным значением теплопроводности, но выполненных из различных материалов.



**Рис. 9** Сравнительный анализ весогабаритных характеристик ограждающих конструкций с равным значением теплопроводности, выполненных из различных материалов

Очевидно, что вне конкуренции термопанель – ограждающая конструкция с каркасом из легких стальных оцинкованных тонкостенных профилей.

1. Монолитная стена, выполненная из несъемной опалубки (вариант 1)
2. Монолитная стена, выполненная из несъемной опалубки (вариант 2)
3. Стена, выполненная из двух слоев кирпича с заключенным между ними эффективным утеплителем
4. Стена, выполненная из кирпича, прикрепленного к ней утеплителя и слоя штукатурки
5. Монолитная железобетонная плита с утеплителем и облицовочным кирпичом
6. Монолитная железобетонная плита с утеплителем и вентилируемым фасадом
7. Стена из ячеистых блоков со штукатуркой, утеплителем и облицовочным кирпичом
8. Стена из ячеистых блоков со штукатуркой, утеплителем и вентилируемым фасадом
9. Легкая стальная ограждающая конструкция – термопанель.



**Рис. 10.** Схема каркасного дома из ЛСТК

Разработка инновационной технологии каркасного строительства с применением легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) - плод многолетнего тесного сотрудничества инженеров - конструкторов, архитекторов, производителей и подрядчиков. Введение в строительную индустрию

машиностроительных методов открывает новые возможности по повышению качества и точности строительства, снижению затрат и сокращению сроков [16].

Эта поистине революционная технология позволяет быстро, эффективно и качественно строить здания и сооружения жилого, общественного, коммерческого и промышленного назначения, включая многоэтажные с применением различных типов каркаса и ограждающих конструкций [18, 19].

Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК) – это общая концепция новой технологии строительства, которая включает:

- легкие стальные профили,
- минераловатную плиту (МВП) или другой эффективный утеплитель,
- облицовочный плитный материал,
- паро и влагозащитные пленки.

Причина, по которой сталь ранее не использовалась в конструкциях наружных стен, связана с ее высокой теплопроводностью, которая способствовала образованию "мостиков холода". "Мостики холода" образуются в элементах с хорошей теплопроводностью, проходящих по всему поперечному сечению стены, и являются причиной потери значительного количества тепла, а также промерзания внутренней поверхности стены и выпадению конденсата, разрушительно влияющего на конструкцию стены и отделочные материалы. В конструкциях наружных стен применяются стальные термопрофили с **минимальным поперечным сечением**, в которых в шахматном порядке прорезаются сквозные канавки для увеличения пути прохождения теплового потока [20, 21].

**Термопрофиль** - элемент металлического каркаса (оцинкованный профиль), один из основных элементов ЛСТК. Изготавливается из оцинкованной стали толщиной от 0,7 до 2,0 мм и представляет собой холоднокатаные П, С - образные профили с просечкой или без, которые могут быть использованы в качестве несущего каркаса для малоэтажных жилых и общественных зданий, отдельных элементов реконструируемых или вновь строящихся многоэтажных объектов - наружных и внутренних стен, перегородок, междуэтажных перекрытий, стропильных конструкций мансард, скатных крыш, ангаров и многого другого [19, 22, 23].

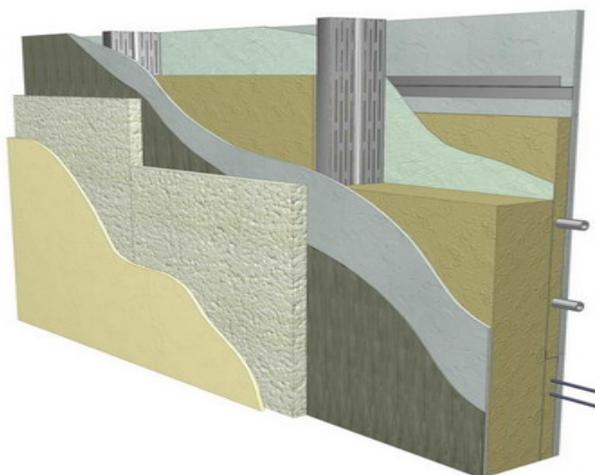


Рис. 7. Ограждающая конструкция из ЛСТК [6]

**Несущие и самонесущие ограждающие конструкции** состоят из:

1. Термопрофилей, изготовленных из полосы тонколистовой стали толщиной 0,7 – 2,0 мм, соединенных между собой винтами-саморезами в плоскости панели. Вертикальные стойки, горизонтальные направляющие и соединительные элементы создают каркас здания [20,24];
2. Эффективного утеплителя. Утеплитель должен быть негорючий, экологически безопасный и обеспечивать высокие теплофизические параметры стены;
3. Гипсокартонных листов обшивки (возможно применение ЦСП, ОСБ и других материалов);
4. Пароизоляционных и диффузионных пленок.

## 6. Выводы

1. Выбран оптимальный баланс между удорожанием и окупаемостью для данного дома с представленной архитектурой, с учетом прогноза удорожания электроэнергии.

2. Создан продаваемый и доступный энергоэффективный дом.

Наиболее эффективным с точки зрения энергосбережения оказываются здания, построенные по каркасной технологии с использованием легких стальных тонкостенных конструкций.

Так какие же перспективы у энергосберегающего строительства?

Без сомнения - самые оптимистичные. Неизвестно на сколько нам еще хватит нефти, но одно очевидно – дешевле она уже не станет никогда! Выигрывает тот, кто уже сегодня задумывается о своем благополучии. Первопроходцам всегда сложнее ломать общепринятые стереотипы, но и дивиденды им достаются самые высокие.

Построив энергосберегающий дом население получит доступное, долговечное, качественное, комфортное и экологичное жилье, улучшит климат в доме, сэкономит средства на отопление.

### Литература

1. Алексеенко С. Энергосбережение-ключ к темпам роста национальной экономики // Наука в Сибири., чл.-корр. РАН, председатель Научно-координационного Совета СО РАН по энергосбережению 10 декабря 2004. №48(2484).
2. Алексеенко С. «Побудительные мотивы энергосбережения» [электронный ресурс] URL: [http://www.energy2020.ru/energy\\_saving/](http://www.energy2020.ru/energy_saving/) (дата обращения 02.07.2013)
3. Kambouris S. «Зеленое» строительство: рейтинговые системы оценки // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2010. № 7. С. 28-35.
4. BREEAM Europe Commercial 2009 Assessor Manual, SD 5066A Issue 1.0. BRE Global. 2009 [Электронный ресурс]. URL:<http://www.breeam.org/> (дата обращения: 05.12.2012).
5. LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System US Green Building Council 2009 [Электронный ресурс]. URL:<http://www.usgbc.org/> (дата обращения: 05.12.2012).
6. Гуткин А. LEED – рейтинговая система для энергоэффективных и экологически чистых зданий // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2008. №6. С.32-44.
7. Ross Jayne M., Mackay J. BREEAM provides new and growing opportunities for work for building surveyors // Structural survey. 1999. №1. Vol. 17. Pp.18-21.
8. Juan Y. K., Gao P., Wang J. A hybrid decision support system for sustainable office building renovation and energy performance improvement // Energy and buildings. 2010. No. 3. Vol. 42. Pp. 290-297.
9. Юрченко В. В. Проектирование каркасов зданий из тонкостенных холодногнутых профилей в среде «SCAD Office // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 8(18). С. 38-46.
10. Кузьменко Д. В., Ватин Н. И. Ограждающая конструкция «нулевой толщины» - термопанель // Инженерно-строительный журнал. 2008. № 1. С. 13-21.
11. Петросова Д. В. Фильтрация воздуха через ограждающие конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 28. № 2. С. 24-31.
12. Семинар ЦЭТ энергоэффективные решения. Мультикомфортный дом [электронный ресурс] [http://www.slideshare.net/cet\\_eco/ss-13654966](http://www.slideshare.net/cet_eco/ss-13654966) (дата обращения: 02.08.2013)
13. Мультикомфортный дом. Строительные технологии XXI века: материалы 2-й Международной практической конференции / Минск, 11–12 апреля 2012 г. Минск, 2012. 64 с.
14. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий (действующая редакция).
15. Гусева Т. П. Инновационные технологии для жилищного строительства // Жилищное строительство. 2009. № 4. С. 4-6.
16. Тамбовцева М. Е. Современное состояние и проблемы инновации в индивидуальном строительстве // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2011. № 2. С. 7.
17. Петров М. Ю., Зонина С. В. Наиболее вероятные способы реконструкции и модернизации зданий индустриальной жилой застройки в настоящий период // Социально-экономические и технические системы: Исследование, проектирование, оптимизация. 2010. № 2. С. 20-39.

18. Жмарин Е. Н. Международная ассоциация легкого стального строительства // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. №2. С. 27-30.
19. Кузьменко Д. В. Ограждающая термopанель с каркасом из термопрофилей // Жилищное строительство. 2009. № 4. С. 12-14.
20. Куражова В. Г., Назмеева Т. В. Виды узловых соединений в легких стальных тонкостенных конструкциях // Инженерно-строительный журнал. 2011. №3(21). С. 47-52.
21. Каталонская М. А. ЛСТК – быстрое решение для строительства доступного жилья // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. №10. С.75-75.
22. Кузьменко Д. В. Ограждающая конструкция на базе легких стальных конструкций // Строительные материалы. 2009. № 4. С. 123-125.
23. Назмеева Т. В. Обеспечение пространственной жесткости покрытия в зданиях из ЛСТК // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 6(8). С. 12-15.
24. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании / Ватин Н. И., Немова Д. В., Рымкевич П. П., Горшков А. С. // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8. С. 4-14.
25. Рыбаков В. А., Недвига П. Н. Эмпирические методы оценки несущей способности стальных тонкостенных просечно-перфорированных балок и балок со сплошной стенкой // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 27-30.
26. Лалин В. В., Рыбаков В. А. Конечные элементы для расчета ограждающих конструкций из тонкостенных профилей // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8. С. 69-80.
27. Лалин В. В., Рыбаков В. А., Морозов С. А. Исследование конечных элементов для расчета тонкостенных стержневых систем // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 27. № 1. С. 53-73.
28. Ватин Н. И., Синельников А. С. Холодногнутый стальной профиль в малых мостовых конструкциях // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 3. С. 39-51.
29. Саламахин С. В., Синельников А. С. Моделирование узла винтового соединения тонкостенных стальных перфорированных профилей методом конечных элементов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 4. С. 53-63.
30. Quach W. M., Huang J. F. Stress-strain models for light gauge steels // Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. Pp. 288-296.
31. J. Michael Davies. Light gauge steel cassette wall construction — theory and practice // Journal of Constructional Steel Research. 2006. Vol. 62. Issue 11. Pp. 1077-1086.
32. Milan Veljkovic, Bernt Johansson. Light steel framing for residential buildings // Thin-Walled Structures. 2006. Vol. 44. Issue 12. Pp. 1272-1279.

## References

1. *Alekseenko S. Jenergosberezhenie-kljuch k tempam rosta nacional'noj jekonomiki // Nauka v Sibiri., chl.-korr. RAN, predsedatel' Nauchno-koordinacionnogo Soveta SO RAN po jenergosberezheniju10 dekabnja 2004.№48(2484). (rus)*
2. *Alekseenko S. «Pobuditel'nye motivy jenergosberezhenija» [web source] URL: [http://www.energy2020.ru/energy\\_saving/](http://www.energy2020.ru/energy_saving/) (date of reference: 02.07.2013)*
3. *Kambouris S. «Zelenoe» stroitel'stvo: rejtingovye sistemy ocenki // AVOK: Ventiljacija, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naja teplofizika. 2010. № 7. S. 28-35. (rus)*
4. BREEAM Europe Commercial 2009 Assessor Manual, SD 5066A Issue 1.0. BRE Global. 2009 [web source]. URL:<http://www.breeam.org/> (date of reference: 05.12.2012).
5. LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System US Green Building Council 2009 [web source]. URL:<http://www.usgbc.org/> (date of reference: 05.12.2012).
6. *Gutkin A. LEED – rejtingovaja sistema dlja jenergojefektivnyh i jekologicheskij chistyh zdanih // AVOK: Ventiljacija, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naja teplofizika. 2008. №6. S.32-44. (rus)*
7. Ross Jayne M., Mackay J. BREEAM provides new and growing opportunities for work for building surveyors // Structural survey. 1999. №1. Vol. 17. Pp.18-21.
8. Juan Y. K., Gao P., Wang J. A hybrid decision support system for sustainable office building renovation and energy performance improvement // Energy and buildings. 2010. No. 3. Vol. 42. Pp. 290-297.

9. Jurchenko V. V. *Proektirovanie karkasov zdaniy iz tonkostennykh holodnognutyykh profilej v srede «SCAD Office // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2010. № 8(18). S. 38-46. (rus)*
10. Kuz'menko D. V., Vatin N. I. *Ograzhdajushhaja konstrukcija «nulevoj tolshhiny» - termopanel' // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2008. № 1. S. 13-21. (rus)*
11. Petrosova D. V. *Fil'tracija vozduha cherez ograzhdajushhie konstrukcii // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2012. T. 28. № 2. S. 24-31. (rus)*
12. Seminar CJeT *jenergojeffektivnye reshenija. Mul'tikomfortnyj dom [web source] [http://www.slideshare.net/cet\\_eco/ss-13654966](http://www.slideshare.net/cet_eco/ss-13654966) (date of reference: 02.08.2013)*
13. *Mul'tikomfortnyj dom. Stroitel'nye tehnologii XXI veka: materialy 2-j Mezhdunarodnoj prakticheskoj konferencii / Minsk, 11–12 aprelya 2012 g. Minsk, 2012. 64 s. (rus)*
14. *SNiP 23-02-2003. Teplovaja zashhita zdaniy (deystvujushhaja redakcija). (rus)*
15. Guseva T. P. *Innovacionnye tehnologii dlja zhilishhnogo stroitel'stva // Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2009. № 4. S. 4-6. (rus)*
16. Tambovceva M. E. *Sovremennoe sostojanie i problemy innovacii v individual'nom stroitel'stve // Internet-Vestnik VolgGASU. 2011. № 2. S. 7. (rus)*
17. Petrov M. Ju., Zonina S. V. *Naibolee verojatnye sposoby rekonstrukcii i modernizacii zdaniy industrial'noj zhiljoj zastrojki v nastojashhij period // Social'no-jekonomicheskie i tehicheskie sistemy: Issledovanie, proektirovanie, optimizacija. 2010. № 2. S. 20-39. (rus)*
18. Zhmarin E. N. *Mezhdunarodnaja asociacija legkogo stal'nogo stroitel'stva // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij. 2012. №2. S. 27-30. (rus)*
19. Kuz'menko D. V. *Ograzhdajushhaja termopanel' s karkasom iz termoprofilej // Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2009. № 4. S. 12-14. (rus)*
20. Kurazhova V. G., Nazmeeva T. V. *Vidy uzlovykh soedinenij v legkih stal'nykh tonkostennykh konstrukcijah // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2011. №3(21). S. 47-52. (rus)*
21. Katalonskaja M. A. *LSTK – bystroe reshenie dlja stroitel'stva dostupnogo zhil'ja // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka. 2008. №10. S.75-75. (rus)*
22. Kuz'menko D. V. *Ograzhdajushhaja konstrukcija na baze legkih stal'nykh konstrukcij // Stroitel'nye materialy. 2009. № 4. S. 123-125. (rus)*
23. Nazmeeva T. V. *Obespechenie prostranstvennoj zhestkosti pokrytija v zdaniyah iz LSTK // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2009. № 6(8). S. 12-15.*
24. *Vlijanie urovnja teplovoj zashhity ograzhdajushhih konstrukcij na velichinu poter' teplovoj jenerгии v zdanii / Vatin N. I., Nemova D. V, Rymkevich P. P., Gorshkov A. S. // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2012. №8. S. 4-14. (rus)*
25. Rybakov V. A., Nedviga P. N. *Jempiricheskie metody ocenki nesushhej sposobnosti stal'nykh tonkostennykh prosechno-perforirovannykh balok i balok so sploshnoj stenkoj // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2009. № 8. S. 27-30. (rus)*
26. Lalin V. V., Rybakov V. A. *Konechnye jelementy dlja rascheta ograzhdajushhih konstrukcij iz tonkostennykh profilej // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2011. № 8. S. 69-80. (rus)*
27. Lalin V. V., Rybakov V. A., Morozov S. A. *Issledovanie konechnykh jelementov dlja rascheta tonkostennykh sterzhnevyykh sistem // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2012. T. 27. № 1. S. 53-73. (rus)*
28. Vatin N. I., Sinel'nikov A. S. *Holodnognutyj stal'noj profil' v malyh mostovykh konstrukcijah // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij. 2012. № 3. S. 39-51. (rus)*
29. Salamahin S. V., Sinel'nikov A. S. *Modelirovanie uzla vintovogo soedinenija tonkostennykh stal'nykh perforirovannykh profilej metodom konechnykh jelementov // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij. 2013. № 4. S. 53-63. (rus)*
30. Quach W. M., Huang J. F. *Stress-strain models for light gauge steels // Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. Pp. 288-296.*
31. J. Michael Davies. *Light gauge steel cassette wall construction — theory and practice // Journal of Constructional Steel Research. 2006. Vol. 62. Issue 11. Pp. 1077-1086.*
32. Milan Veljkovic, Bernt Johansson. *Light steel framing for residential buildings // Thin-Walled Structures. 2006. Vol. 44. Issue 12. Pp. 1272-1279.*