

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Конструкция каркасных зданий с применением монолитного пенобетона

М.К. Бронзова¹, Н.И. Ватин², М.Р. Гарифуллин³

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Информация о статье

УДК 624.014; 624.012.4-183.4

Научная статья

История

Подана в редакцию 4 ноября 2014
Принята 26 января 2015

Ключевые слова

ЛСТК,
каркасное здание,
монолитный пенобетон,
утеплитель,
малоэтажное строительство

АННОТАЦИЯ

Данная статья описывает новую конструкцию каркасных зданий с применением каркаса из ЛСТК и монолитного пенобетона. Подобная конструкция получила широкое распространение за рубежом и на сегодняшний день представляет собой перспективное направление развития строительства в России. Ее применение в малоэтажном жилом строительстве призвано решить проблему доступного и комфортного жилья в нашей стране. В статье описываются основные преимущества пенобетона в сравнении с другими теплоизоляционными веществами, которые объясняют его применение в данной технологии. В работе подробно описаны конструктивные особенности зданий, а также особенности их монтажа. Приведен сравнительный анализ каркасного строительства с традиционными конструкциями зданий.

Содержание

Введение	75
Обзор литературы	75
Почему – ЛСТК?	77
Почему – пенобетон?	78
Преимущества новой конструкции	78
Конструктивные особенности	80
Каркас	80
Перекрытия	80
Стены	81
Кровля	81
Преимущества монтажа	82
Основные компании, применяющие данную конструкцию	83
Заключение	83

1

Контактный автор:

+7 (921) 330 2529, bronzochka@mail.ru (Бронзова Мария Константиновна, студент)

2

+7 (921) 964 3762, vatin@mail.ru (Ватин Николай Иванович, д.т.н., профессор, директор ИСИ)

3

+7 (999) 034 6070; 273marcel@gmail.com (Гарифуллин Марсель Ринатович, аспирант)

Введение

В настоящее время уже есть понимание, что скорейшее решение проблемы строительства доступного и комфортного жилья возможно только за счет малоэтажного строительства. Однако в ряде регионов нет достаточного объема производства кирпичей, блоков и других строительных материалов, отсутствуют строительные организации и квалифицированные кадры. Организация новых и расширение старых производств стройматериалов требует времени и больших материальных затрат.

Поэтому должна быть выработана такая концепция строительства, которая в наибольшей степени могла быть применима в таких неблагоприятных условиях, обеспечивая при этом строительство долговечного, капитального, комфортного жилья с соблюдением соответствующих норм теплозащиты для всех регионов страны и укладываясь, при этом, в установленные нормы стоимости.

В настоящее время в России все более популярным становится новая конструкция зданий, широко распространенная в странах Европы и США и представляющая собой сочетание тонкостенного стального оцинкованного каркаса и пенобетона.

Обзор литературы

Основным несущим элементом описываемой системы является тонкостенный профиль. Тонкостенные конструкции как легкий и универсальный строительный материал были изобретены еще в начале XX века и на сегодняшний день имеют богатую историю и сформировавшую теоретическую базу для их расчета.

Основы теории расчета тонкостенных конструкций были заложены В.З. Власовым и С.П. Тимошенко. Их труды впоследствии развивали Биргер И.А., Болотин В.В., Вайнберг Д.В., Вольмир А.С., Гольденвейзер А.Л., Григолюк Э.И., Колтунов М.А., Корнишин М.С., Корнев Б.Г., Каменских И.В., Астахов И.В. и другие.

Исследования методов расчета тонкостенных конструкций продолжают и по сей день. В частности, А.Р. Туснин [1-3] разработал особый вид конечного элемента – тонкостенный конечный элемент (ТКЭ), в каждом узле которого учитываются как три линейных и три угловых степеней свободы, так и деформация сечения – седьмая степень свободы узла. Также А.Р. Туснин исследовал совокупное действие изгибающего и крутящего моментов на двутавровые профили с учетом развития пластических деформаций [56].

О.А. Туснина [57,58] исследовала поведение Z-образных прогонов, раскрепленных из плоскости с помощью сэндвич-панелей.

А.В. Перельмутер и В.И. Сливкер [4] предлагают «бистержневую модель тонкостенного стержня» как способ моделирования тонкостенных элементов, позволяющий обойти затруднения, вызванные стандартными расчетными программными комплексами, не учитывающими деформационную составляющую узлового перемещения.

Г.И. Белым [6] предложен приближенный аналитический метод расчета тонкостенных стержней по деформированной схеме.

Б.В. Шафер [27,28] исследует используемые конечноэлементные модели и выполняет их параметрические исследования, а также приводит результаты аналитических и экспериментальных исследований крутящего момента стальных холодногнутых стержней и выдвигает метод определения крутящего момента.

А. Кодуганти [29] исследовал зависимость геометрических параметров тонкостенных стержней от критической нагрузки.

К.Д.Р. Расмуссен провел серию испытаний элементов сверхлегких стальных конструкций на крутильно-изгибную потерю устойчивости [30], представил экспериментальные данные и последующий КЭ расчет работы тонкостенных стальных балок из нержавеющей стали [35,36].

М. Тсарей [31] проанализировал поведение новой конструкция перекрытия, представляющей собой соединение холодногнутой стали и бетонной плиты, через метод конечных элементов.

Ч. Ю [32] предложил способ расчета, основанный на методе приведенной ширины, для определения устойчивости формы поперечного сечения типичных холодногнутых С- и Z-образных профилей, подверженных изгибу.

Хайдарали М. и Незеркот Д. [33] рассматривают два вида конечноэлементных моделей для исследования устойчивости раскрепленных из плоскости тонкостенных холодногнутых балок с учетом свойств материала и геометрических нелинейностей.

Д. Камотим [34] представил результаты исследований поведения С- и Z- образных холодногнутых стальных прогонов, раскрепленных стальной листовой обшивкой.

И. Янсен [52-55] представил различные методы анализа динамической устойчивости композитных цилиндрических оболочек.

М. Прокич [59] выполнил расчет тонкостенных стержней открытого профиля на кручение в современных вычислительных комплексах, а также провел анализ сходимости численных результатов с теоретическими в зависимости от сетки разбиения модели на конечные элементы.

А.Р.Туснин и М.Прокич [61] рассмотрели совместное действие изгибающего момента и бимоента на двутавровые профили, дали рекомендации по проверке их несущей способности с учетом развития пластических деформаций.

В статье [62] представлен КЭ анализ устойчивости холодногнутых стальных элементов с круглыми отверстиями, усиленными ребрами жесткости.

О.Туснина [60] производит расчет прогона покрытия С-образного профиля, выполняет физически и геометрически нелинейный численный расчет, определяет составляющие напряженно-деформированного состояния прогона, проводит оценку влияния искривления контура поперечного сечения на величину угла закручивания прогона относительно продольно оси, выполняет расчет общей устойчивости плоско формы изгиба по СНиП.

С недавнего времени важное место в исследовании ЛСТК занимает СПбПУ, учеными которого из года в год публикуются результаты научных исследований тонкостенных профилей. Большое внимание уделяется исследованию термопрофилей, которые представляет собой тонкостенные конструкции, отличающиеся от традиционных наличием продольных просечек, благодаря чему приобретают особые свойства.

Н.И. Ватин и Е.Н. Попова в работе [7] описывают историческое развитие тонкостенных стержней, приводят их преимущества и недостатки, а также рассматривают области их применения и основные особенности расчета.

М.Р. Гарифуллин и Н.И. Ватин [24] представили обзор наиболее актуальных публикаций по теме ЛСТК за последние годы, а также выделили основные методы исследования тонкостенных конструкций в России и за рубежом.

В.А. Рыбаков [5,22], основываясь на полусдвиговой теории В.И. Сливкера, выдвигает метод расчета тонкостенных конструкций, подходящий как для открытого, так и замкнутого профилей, проводит анализ по методу конечных элементов общей устойчивости холодногнутых С-образных стержней с ребром жесткости, а также устойчивости при изгибе.

В.В. Лалин и В.А. Рыбаков [14,15,63] разработали численный метод расчета тонкостенных стержней по бессдвиговой теории В.И. Сливкера и полусдвиговой теории В.З. Власова, а также привели аналитические решения для основных силовых факторов и деформаций для четырех наиболее часто встречаемых в инженерной практике расчетных схем.

Д.Н. Смазнов [8-10] исследует устойчивость составных колонн из высокопрочной стали, обозначает оптимальные параметры их моделирования, дает рекомендации для построения новых типов поперечных сечений.

А.С. Синельников [11,65] провел испытания прочности и устойчивости просечно-растяжного профиля, а также выполнил его моделирование методом конечных элементов. В статье [18] он представил результаты проведенных исследований устойчивости тонкостенных стержней и стоечных профилей при сжатии.

Т.В. Назмеева проводит численные и экспериментальные исследования несущей способности стоек из холодногнутого С-профиля сплошного и перфорированного сечения [12], проводит теоретический и экспериментальный анализ прохождения тепла через термопрофиль при помощи испытательного стенда [19], приводит сравнительный анализ различных видов соединений узлов в тонкостенных конструкциях [25].

Д.С. Шатов [13] рассматривает деформации и формы потери устойчивости тонкостенных стоек открытого сечения с перфорацией, вычисленные методом конечных элементов.

А.О. Гордеева [17] разработала методику построения конечно-элементных расчетных моделей тонкостенных профилей с продольной перфорацией основной полки в SCAD office.

Вопросы общей и местной устойчивости холодногнутых стальных стержней рассмотрены в работах М.Р. Гарифуллина и Д.А. Трубиной [16,20,21,64].

А.В. Орловой [23] были определены параметры энергетической эффективности домов из ЛСТК в соответствии со СНиП 23-02-2003 на примере типового коттеджа.

М.В. Ананина и Н.А. Береснева [26] исследовали вопросы коррозии стали в тонкостенных конструкциях, а также подробно описали наиболее приемлемые пути их защиты.

В последнее время ЛСТК начали применять в составе нового типа ограждающих конструкций – термопанелей [44]. Основой термопанели являются термопрофиль (легкий оцинкованной стальной профиль толщиной от 0,7 до 2,0 мм) и минераловатный утеплитель. Особая эффективность термопанели обуславливается термопрофилем, в котором благодаря наличию продольных просечек исключается возможность образования «мостиков холода» [43]. Это позволяет уменьшить теплопроводность профиля и всей панели в целом. Кроме того, просечки обеспечивают хорошие виброакустические свойства термопанели и способствует удалению влаги из минераловатного утеплителя.

Применение пенобетона в качестве утеплителя позволило получить качественно новый тип ограждающей панели, обладающий целым рядом достоинств. Пенобетон благодаря своим многочисленным полезным свойствам находит широкое применение в монолитном домостроении, а также при теплоизоляции крыш, трубопроводов и других строительных конструкций.

А.Н. Иванов [38] рассматривает методику, позволяющую получить пенобетон определенной средней плотности с необходимыми физико-механическими свойствами.

Д.В. Немова [39] подробно описывает возможность предотвращения наледей на крышах чердачных помещений в низкотемпературные временные периоды с использованием пенобетона.

А.И. Савенко и П.С. Горбач [40] описали идею использования комплексных многокомпонентных добавок получения наиболее пригодного пенобетона, рассмотрели влияние некоторых из них на свойства неавтоклавного ячеистого бетона.

С.А. Зубехин [41], преследуя цель нахождения пути получения пенобетона промышленным способом, рассмотрел новые методы в технологии неавтоклавного пенобетона без наполнителей и заполнителей, а также изделий на его основе.

Активно проблемой монолитного пенобетона занимался И.А. Лундышев. В [46] он рассматривает несущие и самонесущие каркасные системы, применяемые при строительстве из монолитного пенобетона. В [42] он предлагает технологию применения монолитного сверхлегкого пенобетона для теплоизоляции трубопроводов, а также выдвигает комплексный подход при строительстве жилых зданий, трубопроводов и автодорог на основе пенобетона [45].

Почему – ЛСТК?

Основным достоинством каркасов из ЛСТК является индустриальность. Каркасы зданий поставляются на строительную площадку в виде готовых к монтажу наборов промаркированных деталей, снабженных монтажными схемами и инструкциями. Вся сборка каркаса осуществляется только на болтах. Легкость монтажа таких конструкций, позволяет возвести полностью готовую «коробку» здания не более чем за месяц. Использование ЛСТК изначально исключает «мокрые процессы», поэтому монтажные работы можно производить в любое время года. Что не менее важно, малый вес материалов позволяет обходиться без грузоподъемной техники, что значительно экономит средства.

Конструкции из тонкостенных каркасов имеют небольшой вес, что позволяет использовать фундаменты мелкого заложения. Удельный вес готового здания составляет 150-200 кг/м². Это существенно расширяет возможность строительства на пучинистых и зыбких грунтах.

Стоит также отметить, что дом, построенный из ЛСТК, практически не имеет строительных отходов. При строительстве используются гипоаллергенные материалы, которые безопасны для здоровья человека и окружающей среды.

По сравнению с кирпичным домом, строительство из стального тонкостенного профиля обходится дешевле, а по прочности и надежности не уступает, в некоторых случаях, даже превосходит кирпичные строения.

Все эти достоинства открывают широкие перспективы использования тонкостенных конструкций в качестве каркаса для малоэтажных жилых домов.

Почему – пенобетон?

Современные взгляды на строительство, предполагают ответственность строителя не только за прочность здания, но и за экономию энергии на отопление или охлаждение здания. К этому приводит как постоянный рост стоимости на энергоносители, так и постоянный рост объемов строительства.

В условиях постоянного истощения природных ресурсов очень важным критерием при постройке зданий и выборе строительных материалов является степень обеспечиваемой ими теплоизоляции, т.к. потеря тепла в большом количестве осуществляется через ограждающие конструкции зданий – стены, окна, чердачные и цокольные перекрытия.

Стоит отметить, что в современном строительстве применяется широкий спектр теплоизоляционных материалов, уже нашедших применение в строительстве. Это, прежде всего, минераловатные утеплители, пенополистирол, пенополиуретан. Однако, многие из них, в сравнении с пенобетоном, имеют существенные недостатки. К примеру, минераловатные утеплители дают осадку, намокают, что с одной стороны уменьшает теплозащиту, а с другой – увеличивает нагрузку при их применении в утеплении кровель [37]. Пенополистирол типа ПСБ-С не только дает осадку, намокает и разрушается, а так же выделяет отравляющие вещества, поэтому является весьма непригодным для строительных работ [37, 45].

Новая конструкция с применением пенобетона в качестве утеплителя обладает рядом преимуществ, представляя, тем не менее, основу для дальнейших совершенствований ее свойств. Пенобетон является единственным теплоизоляционным материалом, который возможно производить на стройплощадке, что исключает необходимость транспортировки и снижает цену на материалы. Немаловажной представляется и возможность получения пенобетона при любых погодных условиях, до минус 25°C [37].

Преимущества новой конструкции

Данная конструкция представляют собой сочетание стального оцинкованного каркаса и пенобетона, причем каждый из материалов применяется там, где максимально реализуются его преимущества. Технические характеристики рассматриваемой системы приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики [47]

Этажность	1-6 этажей
Пролеты межэтажных перекрытий	до 8,5 м
Снеговая нагрузка	I-V снеговой район
Ветровая нагрузка	I-IV ветровой район
Сейсмическая нагрузка	до 9 баллов включительно
Температура	от -50 до +50 °С
Огнестойкость: несущие стены междуэтажные перекрытия	REI120 REI 90

Преимущества конструкции в сравнении с традиционными аналогами (кирпич, монолит):

Комплексная экономия материальных, трудовых и энергоресурсов

Контролируемость затрат

Сокращение сроков строительства в 1.5-2 раза

Всесезонность строительства (независимость от погодного фактора)

Легкие фундаменты: экономия на нулевом цикле

Универсальность конструкций

Возможность индивидуальных архитектурных, планировочных и отделочных решений

Высокая прочность, сейсмостойкость и огнестойкость

Возможность экономичного строительства в сложных климатических зонах (Крайний Север, сейсмоопасные районы)

Долговечность и надежность

Энергоэффективность, снижение эксплуатационных расходов на отопление и кондиционирование

Экологичность (возможность рецикла)

Элементы зданий и их соединений унифицированы, что позволяет в короткие сроки выполнить проектирование, изготовление и монтаж конструкций здания. При этом сохраняются возможности широкого использования архитектурных и конструктивных решений.

Детальное сравнение системы «ЛСТК + пенобетон» с наиболее распространенными конструкциями зданий приведено в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительные экономические характеристики металлокаркасного строительства с применением пенобетона и традиционных конструкций зданий [47]

Характеристика	Металлокаркас + пенобетон	Кирпичное строительство	Монолитное строительство	Панельное строительство
Средний срок строительства 6-этажного дома, мес.	4-6	10-12	8-10	6-8
Среднее соотношение стоимости строительства	1	2	1,5	1,2
Среднее соотношение стоимости отделочных работ	1	1,5	1,5	1,5
Среднее соотношение приведенных трудозатрат	1	2	1,5	1,2
Среднее соотношение энергозатрат на отопление	1	1,5	1,3	1,3
Возможность легкого фундамента	да	нет	нет	нет
Возможность круглогодичного строительства	да (при заливке в термооболочку)	нет	нет	нет
Возможность бюджетного строительства в сложных климатических условиях	да	нет	нет	нет

Конструктивные особенности

Каркас

Каркас жилых зданий представляет собой конструкцию, выполненную из холодногнутых С-образных стальных оцинкованных тонкостенных профилей и монолитных сталебетонных перекрытий (рисунок 1). Использование холодногнутых профилей заводского изготовления позволяет обеспечить высокую скорость сборки, точность размеров, снижение объемов «мокрых» процессов и контроль затрат при строительстве.

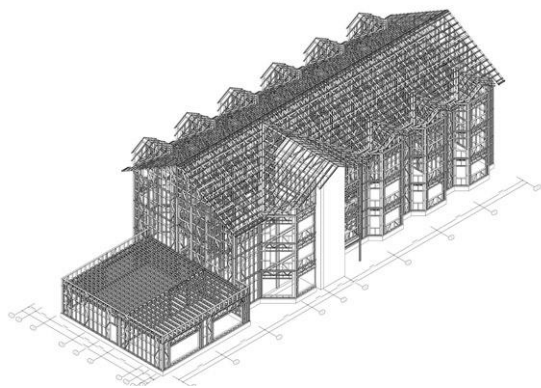


Рисунок 1. Каркас здания [47]

Устойчивость каркаса обеспечивается внутренними продольными и поперечными стенами, в том числе и стенами лестничных клеток и горизонтальными междуэтажными перекрытиями, связывающими стены и расчленяющими их по высоте на ярусы.

Перекрытия

Несущие конструкции межэтажных перекрытий выполняются в виде ферм (рисунок 2) или балок из оцинкованного С-профиля соответствующего сечения. На стенках профиля выполняются технологические отверстия для прокладки коммуникаций и вентиляции (рисунок 3).

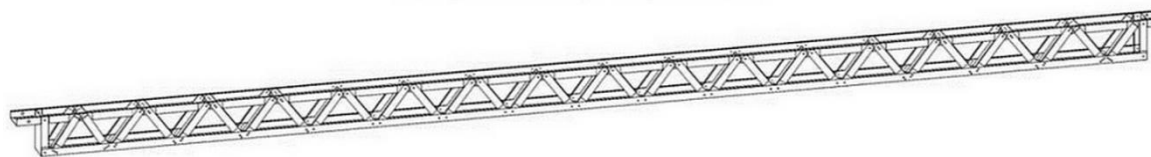


Рисунок 2. Ферма перекрытия [47]

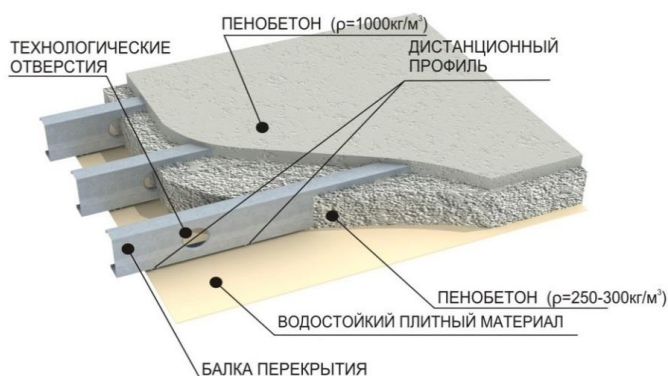


Рисунок 3. Междуэтажное перекрытие [47]

Такая конструкция сталебетонного перекрытия представляет собой оптимальное сочетание высоких прочностных характеристик и жесткости стального каркаса с высокой огнестойкостью, превосходными тепло- и звукоизолирующими свойствами пенобетона, заполняющего пространство между балками и над ними.

Эта конструкция перекрытия имеет достоинства, которых были лишены более ранние аналоги, а именно:

- обеспечивает достаточно высокие прочность и жесткость, позволяющие использовать такие сталебетонные перекрытия не только в одноэтажном строительстве, но и для домов средней этажности;
- обеспечивает технологичность и, как следствие, низкую себестоимость изготовления благодаря оптимальной геометрической конфигурации стальных деталей;
- обеспечивает высокую пожаростойкость, звуко- и теплоизоляционные свойства получаемых панелей благодаря отсутствию открытых металлических конструкций;
- оптимизирует расход металла и уменьшает массу перекрытий.

Стены

Стеновые панели представляют собой конструкцию из стального оцинкованного профиля, залитого пенобетонной смесью по несъемной опалубке из влагостойкого плитного материала (рисунок 4). Панели имеют диагональные элементы, обеспечивающие как жесткость самой панели, так и образование системы пространственных связей здания в трех перпендикулярных плоскостях.

Обшивка крепится к каркасу панели при помощи самонарезающих винтов. Для того чтобы металлические конструкции со всех сторон были закрыты пенобетоном, между опалубкой и каркасом монтируется дистанционирующий профиль, создающий зазор.

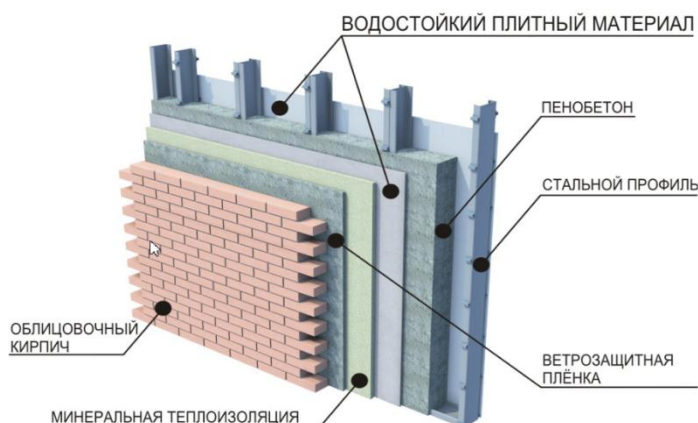


Рисунок 4. Стена с облицовкой из кирпича [47]

Пенобетон обеспечивает огнезащиту, звукоизоляцию и теплоизоляцию здания. Решение совмещает преимущества панелей из конструкционного бетона с существенно меньшей массой, чем у традиционных бетонных панелей, и возможностью изготовления непосредственно на месте возведения сооружений.

Сочетание прочности, легкости, высокой огнестойкости и простоты изготовления панелей, позволяет эффективно использовать их в гражданском строительстве.

Кровля

Кровля может быть запроектирована двускатная, многоскатная или плоская. Несущие конструкции кровли представляют собой фермы (рисунок 5) и (или) балки из холодногнутого оцинкованного профиля.

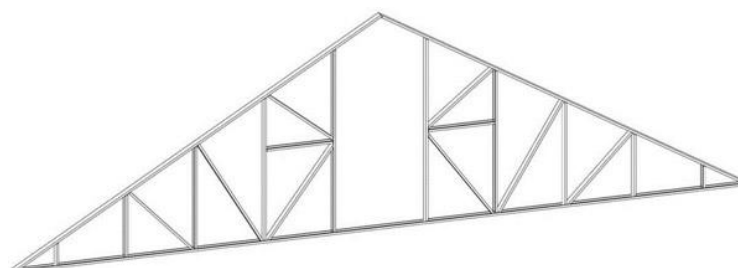


Рисунок 5. Кровельная ферма [47]



Рисунок 6. Плоская кровля [47]

В качестве наружного покрытия могут использоваться различные кровельные материалы по выбору заказчика (рисунок 6).

Преимущества монтажа

Линейные стальные детали могут собираться в каркасы панелей и ферм перекрытий (покрытий) как на заводе-изготовителе, так и на строительной площадке, непосредственно перед установкой в проектное положение. Возможен вариант изготовления деталей каркаса непосредственно на строительной площадке (ввиду мобильного исполнения оборудования).

Данный способ монтажа не только исключает сварочные операции, но и существенно сокращает количество болтовых соединений, повышая скорость и снижая стоимость монтажных операций. Конструкции поставляются в виде конечных деталей высокой заводской готовности. Каждая деталь выполнена таким образом, что имеет единственно возможное место в сборочной единице, что исключает возможность ошибок при монтаже. Для обеспечения точности и скорости сборки все элементы выполняются со специальными позиционирующими отверстиями и наглядной маркировкой, позволяющими отказаться от дорогостоящей и трудоемкой стапельной сборки.

Панели стен, перекрытий и кровельных ферм монтируются из линейных деталей. Монтаж может осуществляться как на стапельной площадке, так и на заводе-изготовителе. Каждая деталь выполнена в необходимый размер и имеет все отверстия и вырезы, предназначенные как для установки ее в панель без измерительных процедур (маркировки и позиционирующие элементы), так и для ее крепления к другим деталям панели (крепежные отверстия).



Рисунок 7. Монтаж каркаса стены [47]

Сборка каркаса здания осуществляется путем установки панелей в проектное положение согласно чертежам и последующего крепления к другим панелям каркаса (рисунок 7). Сборка панелей осуществляется при помощи самонарезающих винтов, соединение панелей между собой – при помощи самонарезающих винтов или болтов нормальной прочности.

Основные компании, применяющие данную конструкцию

Каркасное строительство – одна из наиболее эффективных и динамично развивающихся в мире строительных отраслей. В экономически развитых странах, таких как США и Великобритания, где уровень требований потребителя к безопасности и комфорту жилья очень высок, 70% жилых зданий возводится на металлических каркасах, несмотря на то, что уровень цен металла в этих странах превышает российский. В нашей стране каркасное строительство занимает пока небольшую нишу - всего около 3% от общего объема возводимого жилья, что объясняется как инерционностью потребителей, так и консерватизмом самих строителей и органов, регулирующих их деятельность. Но в последние годы и на нашем рынке наблюдается рост интереса к металлокаркасному строительству и увеличение числа объектов, строящихся с применением ЛСТК.

На сегодняшний день в России более 100 компаний предлагают услуги по проектированию и строительству жилых домов с применением ЛСТК каркаса. Лишь немногие из них применяют монолитный неавтоклавный пенобетон в качестве основного теплоизоляционного материала. Среди них стоит отметить такие, как ООО «Андромета» [47], Холдинг «СОВБИ» [48], ООО "Донстрой Технологии" [49], ООО "Генезис-Рус" [50], ООО "Арсенал СТ" [51].

Заключение

Строительство домов из ЛСТК – это, возможно, новый этап в развитии строительства многоквартирных домов. Высокие энергосберегающие свойства, низкая теплопроводность, высокая энергоемкость, комфортная внутренняя, экологически чистая среда и низкая эксплуатационная стоимость позволяют предложить потенциальным покупателям более высокий уровень жизни при значительной экономии бюджета. Кроме того, точная геометрия стен, потолка и пола не требует дополнительных затрат на чистовую отделку.

Однако благодаря целому ряду достоинств область применения новой конструкции не ограничивается лишь малоэтажным жилым строительством. Она может быть вполне конкурентоспособной и при строительстве детских садов и школ, объектов административного назначения, общежитий, гостиниц, а также объектов здравоохранения.

Литература

- [1]. Туснин А.Р. Численный расчет конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля. М.: МГСУ: Изд-во АСВ, 2009. 143 с.
- [2]. Туснин А.Р. Применение тонкостенного конечного элемента при расчете прогона открытого профиля // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С. 405-408.
- [3]. Туснин А.Р. Конечный элемент для численного расчета конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля // Металлические конструкции. 2009. Т. 15. С. 73-78.
- [4]. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: Изд-во ДМК Пресс. 2002. 618 с.
- [5]. Рыбаков В.А. Применение полусдвиговой теории В.И. Сливкера для анализа напряженно-деформированного состояния систем тонкостенных стержней. Дисс.на соиск. Учен. Степ. к.т.н.: Спец. 01.02.04. С-Пб., 2012. 184 с.
- [6]. Белый Г.И. К деформационному расчету тонкостенных стержней несимметричного сечения // Металлические конструкции и испытания сооружений. Л.: ЛИСИ, 1984. С. 26-30.
- [7]. Ватин Н.И., Попова Е.Н. Термопрофиль в легких стальных конструкциях. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006, 63 с.
- [8]. Смазнов Д.Н. Устойчивость при сжатии составных колонн, выполненных из профилей из высокопрочной стали // Инженерно-строительный журнал. 2009. №3(5). С. 42-49.
- [9]. Смазнов Д.Н. Моделирование работы тонкостенных стальных профилей в «СКАД» // Наука и инновации в технических университетах: материалы Третьего Всерос. форума студентов, аспирантов и молодых ученых. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. С. 33-34.
- [10]. Смазнов Д.Н. Конечноэлементное моделирование работы жестких вставок тонкостенных холодноформованных стальных профилей // Научный журнал КубГАУ. 2011. № 67(03). С. 54-67.
- [11]. Синельников А.С. и Орлова А.В. Прочность просечно-растяжного профиля: испытания и математическое моделирование // Вестник МГСУ. 2013. № 12. С. 41-54.
- [12]. Назмеева Т.В. Несущая способность сжатых стальных тонкостенных элементов сплошного и перфорированного сечения из холодногнутого С-профиля // Инженерно-строительный журнал. 2013. №5(40). С. 27-30.
- [13]. Шатов Д.С. Конечноэлементное моделирование перфорированных стоек открытого сечения из холодногнутого профилей // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 3(21). С. 32-35.
- [14]. Лалин В.В., Рыбаков В.А. Конечные элементы для расчета ограждающих конструкций из тонкостенных профилей // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8(26). С. 69-80.
- [15]. Лалин В.В., Рыбаков В.А., Морозов С.А. Исследование конечных элементов для расчета тонкостенных стержневых систем // Инженерно-строительный журнал. 2012. №1(27). С. 53-73.
- [16]. Трубина Д.А., Кононова Л.А., Кауров А.А., Пичугин Е.Д., Абдулаев Д.А. Местная потеря устойчивости стальных холодногнутого профилей в условиях поперечного изгиба // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. 4(19). С. 112-115.
- [17]. Гордеева А.О., Ватин Н.И. Расчетная конечно-элементная модель холодногнутого перфорированного тонкостенного стержня в программно-вычислительном комплексе SCAD Office // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 3(21). С. 36-46.
- [18]. Vatin N., Havula Ja., Martikainen L., Sinelnikov A., Orlova A., Salamakhin S. (2014). Thin-walled cross-sections and their joints: tests and FEM-modelling. Advanced Materials Research. 2014. No. 945-949. pp. 1211-1215.
- [19]. Vatin N.I., Nazmeeva T., Guslinsky R. (2014). Problems of cold-bent notched C-shaped profile members. Advanced Materials Research. 2014. No. 941-944. pp. 1871-1875.
- [20]. Vatin N.I., Sinelnikov A., Garifullin M., Trubina D. (2014). Simulation of cold-formed steel beams in global and distortional buckling. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 633-634. pp. 1037-1041.
- [21]. Trubina D., Abdulaev D., Pichugin E., Garifullin M. (2014). The loss of stability of thin-walled steel profiles. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 633-634. pp. 1052-1057.
- [22]. Trubina D., Abdulaev D., Pichugin E., Rybakov V. (2014). Effect of constructional measures on the total and local loss of stability of the thin-walled profile under transverse bending. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 633-634. pp. 982-990.

- [23]. Орлова А.В., Жмарин Е.М., Парамонов К.О. Энергетическая эффективность домов из ЛСТК // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013, №6(11), с. 4-11.
- [24]. Гарифуллин М. Р., Ватин Н.И. Устойчивость тонкостенного холодногнутого профиля при изгибе — краткий обзор публикаций // Строительство уникальных зданий и сооружений, №6 (21). 2014. с. 32-57.
- [25]. Куражова В.Г., Назмеева Т.В. Виды узловых соединений в легких стальных тонкостенных конструкциях // Инженерно-строительный журнал, №3. 2011. с. 47-52.
- [26]. Ananina M.V., Beresneva N.A., Shurovkina L.L. Influence of corrosion on the light gauge steel framing // Construction of Unique Buildings and Structures. ISSN 2304-6295. 7 (22). 2014. 54-70.
- [27]. Yu C., Schafer B. W. (2007). Simulation of cold-formed steel beams in local and distortional buckling with applications to the direct strength method. Journal of Constructional Steel Research. 2007. Vol. 63. Issue 5. Pp. 581-590.
- [28]. Ayhan D., Schafer B.W.. (2012). Moment-Rotation Characterization of Cold-Formed Steel Beams. CFS-NEES-PR02. 2012. pp. 3-33.
- [29]. Sastry S.Y. B., Krishna Y., Koduganti A.(2014). Flexural Buckling Analysis of Thin Walled Lipped Channel Cross Section Beams with Variable Geometry. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2014. Pp. 13487-13490.
- [30]. Truncer A.N., Rasmussen K.J.R.(2014). Flexural-torsional buckling of ultra light-gauge steel storage rack uprights. Coupled Instabilities in Metal Structures.2014. pp. 159-174
- [31]. Yazdan M., Cheng-Tzu T. H., Zarei M.(2014). Finite element analysis of new composite floors having cold-formed steel and concrete slab. Engineering Structures. 2014. Pp. 65-83.
- [32]. Yu C., Yan W. (2014). Effective Width Method for determining distortional buckling strength of cold-formed steel flexural C and Z sections. Thin-walled structures. 2014. No.49(2) pp. 233-238.
- [33]. Haidarali M. R., Nethercot D. A. (2011). Finite element modelling of cold-formed steel beams under local buckling or combined local/distortional buckling. Thin-Walled Structures. 2011. Vol. 49. Issue 12. Pp. 1554-1562.
- [34]. Basaglia C., Camotim D., Gonçalves R., Graça A. (2013). GBT-based assessment of the buckling behaviour of cold-formed steel purlins restrained by sheeting, Thin-walled structures. 2013. No. 72 pp. 217-229.
- [35]. Truncer A.N., Rasmussen K.J.R..(2014). Flexural-torsional buckling of ultra light-gauge steel storage rack uprights. Coupled Instabilities in Metal Structures.2014. pp. 159-174
- [36]. Niu S., Rasmussen K.J., Fan F. (2014). Distortional-global interaction buckling of stainless steel C-beams: Part I — Experimental investigation. Journal of Constructional Steel Research. 2014. No. 96. pp. 127-139.
- [37]. Почему мы выбираем монолитный пенобетон в качестве утеплителя? // Инженерно-строительный журнал, №2, 2008. с. 38.
- [38]. Иванов А.Н., Трембицкий М.А. Пенобетон заданной средней плотности для утепления чердачных перекрытий // Инженерно-строительный журнал, №8. 2011. с. 19-24.
- [39]. Немова Д.В. Реновация чердачных перекрытий как инженерно-техническое мероприятие по предотвращению образования наледей на крышах // Строительство уникальных зданий и сооружений, № 3. 2012. с. 87-89.
- [40]. Савенко А.И., Горбач П.С. Качественный пенобетон — это реальность // Сборник научных трудов Ангарской государственной технической академии. №1. Ангарск: АГТА, 2005. с. 363-369.
- [41]. Юдович Б.Э., Зубехин С.А. Пенобетон: новое в основах технологии // Техника и технология силикатов, №14(1). 2007. с. 14-24.
- [42]. Лундышев И.А. Перспективные технологии применения монолитного пенобетона для теплоизоляции трубопроводов // Инженерно-строительный журнал, №1. 2008. с. 38-41.
- [43]. Рыбаков В.А., Гамаюнова О.С. Напряженно-деформированное состояние элементов каркасных сооружений из тонкостенных стержней // Строительство уникальных зданий и сооружений, №7(12). 2013. с. 82-113.
- [44]. Кузьменко Д.В., Ватин Н.И. Ограждающая конструкция «нулевой толщины» - термопанель // Инженерно-строительный журнал, №1. 2008. с.13-20.
- [45]. Лундышев И.А. Комплексное применение монолитного пенобетона при строительстве в труднодоступных районах добычи энергоресурсов // Инженерно-строительный журнал. 2009. №4. с. 16-19.
- [46]. Лундышев И.А. Каркасные системы, применяемые в ограждающих конструкциях при строительстве из монолитного пенобетона // Инженерно-строительный журнал. 2009. №1. С. 13-16.

- [47]. Производство быстровозводимых зданий из легких металлоконструкций, проектирование быстровозводимых зданий и сооружений из ЛСТК [электронный ресурс] URL: <http://andrometa.ru/>. дата обращения (02.12.2014).
- [48]. Пенобетон | SOVBI Холдинг [электронный ресурс] URL: <http://sovbi.ru/>. дата обращения (02.12.2014)
- [49]. Строительство домов из ЛСТК, каркасные дома из ЛСТК - Дон Строй Технологии [электронный ресурс] URL: <http://www.don-st.ru/>. дата обращения (02.12.2014).
- [50]. Genesis - Каркасно монолитная технология [электронный ресурс] URL: <http://www.genesistp.ru/lstkgb/>. дата обращения (02.12.2014).
- [51]. Арсенал СТ: Проекты домов: каркасные быстровозводимые дома, здания [электронный ресурс] URL: <http://www.arsenal-st.ru/>. дата обращения (02.12.2014).
- [52]. Rahman, T., Jansen, E., & Gürdal, Z. (2011). IMPERFECTION SENSITIVITY ANALYSIS OF COMPOSITE SHELLS USING A FINITE ELEMENT VERSION OF KOITER'S METHOD.
- [53]. Jansen, E., Rahman, T., & Gürdal, Z. (2011). Dynamic stability analysis of shells using a finite element based reduction method. PAMM, 11(1), 229-230.
- [54]. Rahman, T., Jansen, E. L., & Gürdal, Z. (2011). Dynamic buckling analysis of composite cylindrical shells using a finite element based perturbation method. Nonlinear Dynamics, 66(3), 389-401.
- [55]. Tiso, P., Jansen, E., & Abdalla, M. (2011). Reduction method for finite element nonlinear dynamic analysis of shells. AIAA journal, 49(10), 2295-2304.
- [56]. Tusnin, A.R. (2014). Bearing capacity of steel I-sections under combined bending and torsion actions taking into account plastic deformations. Journal of Applied Engineering Science, Issue 3, pp.179-186.
- [57]. Tusnina, O. (2013). An influence of the mesh size on the results of finite element analysis of Z-purlins supported by sandwich panels. Applied Mechanics and Materials, pp. 1483-1486.
- [58]. Tusnina, O. (2013). A finite element analysis of cold-formed Z-purlins supported by sandwich panels. Applied Mechanics and Materials, pp. 398-403.
- [59]. Прокич М. Анализ сходимости численных решений при расчете тонкостенных стержней открытого профиля на кручение // Научно-технический вестник Поволжья, 2014. №3. С.213-217.
- [60]. Туснина О. Особенности работы тонкостенного холодногнутого прогона С-образного сечения // Вестник МГСУ, 2014. №10. С.64-74.
- [61]. Туснин А.Р., Прокич М. Работа симметричных двутавровых сечений при развитии пластических деформаций и действии изгибающего момента и бимомента // Инженерно-строительный журнал, 2014, №5(49), С.44-53.
- [62]. Garifullin, M., Trubina, D., Vatin, N. Local buckling of cold-formed steel members with edge stiffened holes (2015) Applied Mechanics and Materials, 725–726, pp. 697–702.
- [63]. Rybakov, V., Sergey, A. Mathematical Analogy Between Non-Uniform Torsion and Transverse Bending of Thin-Walled Open Section Beams (2015) Applied Mechanics and Materials, 725–726, pp. 746–751.
- [64]. Trubina, D., Abdulaev, D., Pichugin, E., Rybakov, V., Garifullin, M., Sokolova, O. Comprasion Of The Bearing Capacity Of LST-Profile Depending On The Thickness Of Its Elements (2015) Applied Mechanics and Materials, 725–726, pp. 752–757.
- [65]. Vatin, N., Havula, J., Martikainen, L., Sinelnikov, A., Shurovkina, L. L. Reticular-Stretched Thermo-Profile: Buckling of the Perforated Web as a Single Plate (2015) Applied Mechanics and Materials, 725–726, pp. 722–727.

Frame buildings construction using monolithic foamed concrete

M.K. Bronzova¹, N.I. Vatin², M.R. Garifullin³

Saint-Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

Received 4 November 2014
Accepted 26 January 2015

Keywords

cold formed structures,
frame buildings,
solid-cast foamed concrete,
insulation,
low-rise housing construction

ABSTRACT

This article describes a new frame buildings construction with the use of light-gauge steel framing and solid-cast foamed concrete. This construction is widely spread abroad and has become an advanced direction of the Russian construction development nowadays. Its application in the low-rise housing construction is aimed to solve the problem of the available and comfortable housing in our country. The basic advantages of the foamed concrete in comparison with the other heat-insulating materials are settled in the article. The detailed descriptions of the building's design as well as the distinctive features of the erection process are given. The comparative analysis of the new construction with its traditional counterparts is provided.

1

Corresponding author:

+7 (921) 330 2529, bronzochka@mail.ru (Maria Konstantinovna Bronzova, Student)

2

+7 (921) 964 3762, vatin@mail.ru (Nikolay Ivanovich Vatin, D. Sc., Professor, Director of Civil Engineering Institute)

3

+7 (999) 034 6070; 273marcel@gmail.com (Marsel Rinatovich Garifullin, Post-graduate Student)

References

- [1]. Tusnin A.R. Numerical calculation of thin-walled structures of public profile. M.: MGSU: Izd-vo ASV, 2009. Pp. 143. (rus)
- [2]. Tusnin A.R. Use thin-walled finite element in calculating chase an open profile. Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzhya. 2012. № 6. Pp. 405-408. (rus)
- [3]. Tusnin A.R. Finite element for numeric computation of structures of thin-walled open profile bars. Metallicheskiye konstruksii. 2009. T. 15. Pp. 73-78. (rus)
- [4]. Perelmuter A.V., Slivker V.I. Computational models of structures and the possibility of their analysis. M.: Izd-vo DMK Press. 2002. Pp. 618.(rus)
- [5]. Rybakov V.A. Application of half-moving theory VI Slivkera for analysis of stress-strain state of thin-walled systems. Diss.na soisk. Uchen. Step. k.t.n.: Spets. 01.02.04. S-Pb. 2012. Pp. 184. (rus)
- [6]. Belyy G.I. Calculating of deformation of thin-walled cross-section. Metallicheskiye konstruksii i ispytaniya sooruzheniy. L.: LISI, 1984. Pp. 26-30. (rus)
- [7]. Vatin N.I., Popova Ye.N. Thermoprofile in light steel building structures. SPb.: Izd-vo SPbGPU. 2006. Pp. 63. (rus)
- [8]. Smaznov D.N. Compressive resistance of composite columns made of high strength steel profiles. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2009. №3(5). Pp. 42-49. (rus)
- [9]. Smaznov D.N. Modeling of thin-walled steel profiles in the SKAD soft. Nauka i innovatsii v tekhnicheskikh universitetakh: materialy Tret'yego Vseros. foruma studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta. 2009. Pp. 33-34. (rus)
- [10]. Smaznov D.N. MFE modelling of behave of stiffeners for thin walled steel profiles. Nauchnyy zhurnal KubGAU. 2011. № 67(03). Pp. 54-67. (rus)
- [11]. Sinelnikov A.S. i Orlova A.V. Strength of the expanded stretching profile: tests and mathematical modeling. Vestnik MGSU. 2013. № 12. Pp. 41-54. (rus)
- [12]. Nazmeyeva T.V. Bearing capacity of compressed continuous and perforated thin-walled steel members of C-shaped cold-formed profiles. Magazine of Civil Engineering. 2013. Vol. 40. Issue 5. Pp. 44–51. (rus)
- [13]. Shatov D.S. Finite element modelling of open section perforated thin-walled studs made from thin-walled steel profiles. Magazine of Civil Engineering. 2011. Issue 3. Pp. 32-35. (rus)
- [14]. Lalin V.V., Rybakov V.A. The finite elements for design of building walling made of thin-walled beams. Magazine of Civil Engineering. 2011. Vol. 26. Issue 8. Pp. 69-80. (rus)
- [15]. Lalin V.V., Rybakov V.A., Morozov S.A. The finite elements research for calculation of thin-walled bar systems. Magazine of Civil Engineering. 2012. Vol. 27. Issue 1. Pp. 53-73. (rus)
- [16]. Trubina D.A., Kononova L.A., Kaurov A.A., Pichugin Ye.D., Abdulaev D.A. Local buckling of steel cold-formed profiles under transverse bending. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. 4(19). Pp. 112-115. (rus)
- [17]. Gordeyeva A.O., Vatin N.I. Finite element calculation model of thin-walled cold-formed profile in software package SCAD. Magazine of Civil Engineering. 2011. Issue 3. Pp. 36-46. (rus)
- [18]. Vatin N., Havula Ja., Martikainen L., Sinelnikov A., Orlova A., Salamakhin S. (2014). Thin-walled cross-sections and their joints: tests and FEM-modelling. Advanced Materials Research. 2014. No. 945-949 .pp. 1211-1215.
- [19]. Vatin N.I., Nazmeeva T., Guslinsky R. (2014). Problems of cold-bent notched C-shaped profile members. Advanced Materials Research. 2014. No. 941-944. pp. 1871-1875.
- [20]. Vatin N.I., Sinelnikov A., Garifullin M., Trubina D..(2014). Simulation of cold-formed steel beams in global and distortional buckling. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 633-634 pp. 1037-1041.
- [21]. Trubina D., Abdulaev D., Pichugin E., Garifullin M. (2014). The loss of stability of thin-walled steel profiles. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 633-634. pp. 1052-1057.
- [22]. Trubina D., Abdulaev D., Pichugin E., Rybakov V. (2014). Effect of constructional measures on the total and local loss of stability of the thin-walled profile under transverse bending. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 633-634. pp. 982-990.
- [23]. Orlova A.V., Zhmarin Ye.M., Paramonov K.O. Power efficiency of houses from light-gauge steel structures. Construction of Unique Buildings and Structures. 2013, №6(11), Pp. 4-11. (rus)

- [24].Garifullin M. R., Vatin N.I. Buckling analysis of thin-walled cold-formed beams — short review. Construction of Unique Buildings and Structures. №6 (21). 2014. Pp. 32-57. (rus)
- [25].Kurazhova V.G., Nazmeyeva T.V. Node connections of cold-formed steel structures. Magazine of Civil Engineering. №3. 2011. Pp. 47-52. (rus)
- [26].Ananina M.V., Beresneva N.A., Shurovkina L.L. Influence of corrosion on the light gauge steel framing // Construction of Unique Buildings and Structures. ISSN 2304-6295. 7 (22). 2014. 54-70.
- [27].Yu C., Schafer B. W. (2007). Simulation of cold-formed steel beams in local and distortional buckling with applications to the direct strength method. Journal of Constructional Steel Research. 2007. Vol. 63. Issue 5. Pp. 581-590.
- [28].Ayhan D., Schafer B.W.. (2012).Moment-Rotation Characterization of Cold-Formed Steel Beams. CFS-NEES-PR02. 2012. pp. 3-33.
- [29].Sastry S.Y. B., Krishna Y., Koduganti A.(2014). Flexural Buckling Analysis of Thin Walled Lipped Channel Cross Section Beams with Variable Geometry. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2014. Pp. 13487-13490.
- [30].Trouncer A.N., Rasmussen K.J.R.(2014). Flexural–torsional buckling of ultra light-gauge steel storage rack uprights. Coupled Instabilities in Metal Structures.2014. pp. 159-174
- [31].Yazdan M., Cheng-Tzu T. H., Zarei M.(2014). Finite element analysis of new composite floors having cold-formed steel and concrete slab. Engineering Structures. 2014. Pp. 65-83.
- [32].Yu C., Yan W. (2014).Effective Width Method for determining distortional buckling strength of cold-formed steel flexural C and Z sections. Thin-walled structures. 2014. No.49(2) pp. 233-238.
- [33].Haidarali M. R., Nethercot D. A. (2011). Finite element modelling of cold-formed steel beams under local buckling or combined local/distortional buckling. Thin-Walled Structures. 2011. Vol. 49. Issue 12. Pp. 1554-1562.
- [34].Basaglia C., Camotim D., Gonçalves R., Graça A. (2013).GBT-based assessment of the buckling behaviour of cold-formed steel purlins restrained by sheeting, Thin-walled structures. 2013. No. 72 pp. 217-229.
- [35].Trouncer A.N., Rasmussen K.J.R..(2014). Flexural–torsional buckling of ultra light-gauge steel storage rack uprights. Coupled Instabilities in Metal Structures.2014. pp. 159-174
- [36].Niu S., Rasmussen K.J.,Fan F. (2014). Distortional-global interaction buckling of stainless steel C-beams: Part I — Experimental investigation. Journal of Constructional Steel Research. 2014. No. 96. pp. 127-139.
- [37].Why do we choose the solid-cast foamed concrete as a heat retainer?. Magazine of Civil Engineering. №2, 2008. Pp. 38. (rus)
- [38].Ivanov A.N., Trembitskiy M.A. Foam concrete of certain average density for thermal insulation of attic floors. Magazine of Civil Engineering. №8. 2011. Pp. 19-24. (rus)
- [39].Nemova D.V. Renovation of garret overlappings as technical action about prevention of formation ice-dams. Construction of Unique Buildings and Structures. № 3. 2012. Pp. 87-89. (rus)
- [40].Savenko A.I., Gorbach P.S. High quality foam concrete - it is a reality. Sbornik nauchnykh trudov Angarskoy gosudarstvennoy tekhnicheskoy akademii. №1. Angarsk: AGTA, 2005. Pp. 363-369. (rus)
- [41].Yudovich B.E., Zubekhin S.A. Foam concrete: the new in the basics of the technology. Tekhnika i tekhnologiya silikatov, №14(1). 2007. Pp. 14-24. (rus)
- [42].Lundyshev I.A. Advanced technologies of the solid-cast foam concrete application for the heat insulation of the conduit pipes. Magazine of Civil Engineering. №1. 2008. Pp. 38-41. (rus)
- [43].Rybakov V.A., Gamayunova O.S. The stress-strain state of frame constructions' elements from thin-walled cores. Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. Vol. 12 Issue 7. Pp. 79-123. (rus)
- [44].Kuzmenko D.V., Vatin N.I. Building envelope of "zero thickness" - thermo panel. Magazine of Civil Engineering. №1. 2008. Pp.13-20. (rus)
- [45].Lundyshev I.A. Combined application of the solid-cast foam concrete in the construction in hard-to-reach areas of the energy sources procurement. Magazine of Civil Engineering. 2009. №4. Pp. 16-19. (rus)
- [46].Lundyshev I.A. Frameworks applicable in building envelope in the process of building with the solid-cast foam concrete. Magazine of Civil Engineering. 2009. №1. Pp. 13-16. (rus)
- [47].Proizvodstvo bystrovozvodimykh zdaniy iz legkikh metallokonstruktsiy, proyektirovaniye bystrovozvodimykh zdaniy i sooruzheniy iz LSTK [elektronnyy resurs] URL: <http://andrometa.ru/>. data obrashcheniya (02.12.2014).
- [48].Penobeton | SOVBI Kholding [elektronnyy resurs] URL: <http://sovbi.ru/>. data obrashcheniya (02.12.2014)

- [49]. Stroitelstvo domov iz LSTK, karkasnyye doma iz LSTK - Don Stroy Tekhnologii [elektronnyy resurs] URL: <http://www.don-st.ru/>. data obrashcheniya (02.12.2014).
- [50]. Genesis - Karkasno monolitnaya tekhnologiya [elektronnyy resurs] URL: <http://www.genesistp.ru/lstkgb/>. data obrashcheniya (02.12.2014).
- [51]. Arsenal ST: Projekty domov: karkasnyye bystrovozvodimyye doma, zdaniya [elektronnyy resurs] URL: <http://www.arsenal-st.ru/>. data obrashcheniya (02.12.2014).
- [52]. Rahman, T., Jansen, E., Gürdal, Z. Imperfection Sensitivity Analysis Of Composite Shells Using A Finite Element Version Of Koiter' S Method (2011) 16th International Conference on Composite Structures ICCS 16, in 16th International Conference on Composite Structures ICCS 16
- [53]. Jansen, E., Rahman, T., & Gürdal, Z. (2011). Dynamic stability analysis of shells using a finite element based reduction method. PAMM, 11(1), 229-230.
- [54]. Rahman, T., Jansen, E. L., & Gürdal, Z. (2011). Dynamic buckling analysis of composite cylindrical shells using a finite element based perturbation method. Nonlinear Dynamics, 66(3), 389-401.
- [55]. Tiso, P., Jansen, E., & Abdalla, M. (2011). Reduction method for finite element nonlinear dynamic analysis of shells. AIAA journal, 49(10), 2295-2304.
- [56]. Tusnin, A.R. (2014). Bearing capacity of steel I-sections under combined bending and torsion actions taking into account plastic deformations. Journal of Applied Engineering Science, Issue 3, pp.179-186.
- [57]. Tusnina, O. (2013). An influence of the mesh size on the results of finite element analysis of Z-purlins supported by sandwich panels. Applied Mechanics and Materials, pp. 1483-1486.
- [58]. Tusnina, O. (2013). A finite element analysis of cold-formed Z-purlins supported by sandwich panels. Applied Mechanics and Materials, pp. 398-403.
- [59]. Prokich M. Numerical solution convergence analysis at calculating thin-walled open section beams in torsion. Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Povolzhya, №3. 2014. Pp .213-217. (rus)
- [60]. Tusnina O. The features of behaviour of a thin-walled C-perlin. Vestnik MGSU, №10. 2014. Pp.64-74. (rus)
- [61]. Tusnin A.R., Prokich M. Behavior of symmetric steel I-sections under combined bending and torsion actions allowing for plastic deformations. Magazine of Civil Engineering. 2014, №5(49), pp.44-53. (rus)
- [62]. Garifullin, M., Trubina, D., Vatin, N. Local buckling of cold-formed steel members with edge stiffened holes (2015) Applied Mechanics and Materials, 725–726, pp. 697–702.
- [63]. Rybakov, V., Sergey, A. Mathematical Analogy Between Non-Uniform Torsion and Transverse Bending of Thin-Walled Open Section Beams (2015) Applied Mechanics and Materials, 725–726, pp. 746–751.
- [64]. Trubina, D., Abdulaev, D., Pichugin, E., Rybakov, V., Garifullin, M., Sokolova, O. Comprasion Of The Bearing Capacity Of LST-Profile Depending On The Thickness Of Its Elements (2015) Applied Mechanics and Materials, 725–726, pp. 752–757.
- [65]. Vatin, N., Havula, J., Martikainen, L., Sineinikov, A., Shurovkina, L. L. Reticular-Stretched Thermo-Profile: Buckling of the Perforated Web as a Single Plate (2015) Applied Mechanics and Materials, 725–726, pp. 722–727.