

УДК 624.072.33

Д. Г. РАДИОНОВ

ГОУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет»

СОВРЕМЕННЫЕ ТИПЫ РАМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

В статье рассматриваются подходы по формообразованию рамных конструкций. В качестве объекта исследований приняты наиболее распространенные типы стальных рамных конструкций – рамы из прокатных двутавров, двутавров переменного сечения, с гибкой стенкой, с гофрированной стенкой, из перфорированных двутавров, из гнутосварных тонкостенных профилей, из гнутых тонкостенных профилей.

формообразование рам, рамные конструкции, прокатный профиль, гофрированная балка, перфорированная балка, роспуск, зигзагообразный рез, внутренние напряжения

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Рамные металлические конструкции отличаются большим разнообразием статических схем, количеством пролетов, конфигурацией и т. д., что позволяет строить здания самого различного назначения и размеров.

Использование того или иного вида рам, их статической схемы и типа сечения определяется размерами и конфигурацией проектируемого здания, наличием соответствующего технологического оборудования для изготовления конструкций и другими факторами.

Выбор облегченной рамной конструкции в качестве системы несущих каркасов является наиболее приоритетной задачей при проектировании каркаса производственного здания. Современные дизайнерские и объемно-планировочные решения требуют применения в качестве несущего каркаса стальных балок, поскольку при больших пролетах от 7 м и выше бетонные конструкции становятся не эффективными.

В данной статье рассмотрены наиболее перспективные типы стальных рамных конструкций с элементами постоянного и переменного сечения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В последние годы появились новые виды двутавровых балок, благодаря чему данный конструктивный элемент несущих конструкций зданий стал применяться более широко.

Сечения из сварных двутавров могут быть скомпонованы из гладкой листовой стали, с использованием в полках гнутых профилей, с гибкой и гофрированной стенкой. Развитые прокатные двутавры имеют сплошную либо перфорированную стенку постоянной или переменной высоты [1, 6].

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Вследствие дальнейшего совершенствования форм рамных конструкций появились рамы из элементов переменной жесткости. Каркас здания с рамными конструкциями состоит из поперечных рам, прогонов, вертикальных связей и распорок по стойкам рам, стоек и балок торцевых фахверков.

Основными нагрузками для бескрановых зданий с рамными каркасами являются нагрузки от конструкций покрытия и снегового покрова. Основным критерием для формообразования рамных

конструкций является форма эпюры изгибающих моментов в раме с жестким сопряжением ригеля и стоек при шарнирном сопряжении с фундаментами от этих нагрузок, которая представляет собой параболу в ригеле и треугольники в стойках.

Оптимальной с точки зрения распределения материала будет рама, которая как можно точнее повторяет очертание эпюры моментов: максимальные значения высот сечений в коньковом и карнизных узлах и минимальные – в точках пересечения эпюрой моментов нейтральной оси в ригеле и в узлах опирания стоек на фундаменты. Для упрощения конструкции ригель делают постоянного сечения. Все элементы рамы можно изготовить из прокатных двутавров путем соответствующей разрезки. Рамы переменной жесткости позволяют получить экономию стали по сравнению с аналогичными постоянного сечения в среднем до 30 % (металлоемкость зависит от габаритных размеров рамы, наличия или отсутствия кранового оборудования, нагрузки на покрытие и др.) [1].

Рамы переменной жесткости дают возможность создавать системы одно- и многопролетных каркасов зданий с широким диапазоном размеров пролетов и высот. Такие системы получили широкое распространение в различных странах, их успешно начинают применять в нашей стране. Системы на основе рам переменной жесткости, производимые фирмой «Батлер» в США и Канаде, завоевали лидирующие позиции в зданиях многоцелевого назначения.

Расчет и конструирование рам переменной жесткости имеют ряд особенностей: взаимосвязь распределения пролетного и карнизного моментов с распределением жесткостей в конструкции; зависимость между максимальным и минимальным сечениями в элементе; специфичность расчета на прочность и устойчивость и др.

Рамы из прокатных двутавров

Прокатные двутавры применяют для перекрытия небольших пространств конструктивными элементами ограниченной несущей способности, что связано с имеющейся номенклатурой выпускаемых прокатных профилей.

В сравнении с составными прокатные двутавры более металлоемки за счет увеличенной толщины стенки, но менее трудоемки в изготовлении и более надежны в эксплуатации. За исключением опорных зон и зон приложения значительных сосредоточенных сил, стенки прокатных двутавров не требуются укреплять ребрами жесткости. Отсутствие сварных швов в областях контакта полок со стенкой существенно уменьшает концентрацию напряжений и снижает уровень начальной дефектности. Узловые соединения обычно принимают фланцевыми на высокопрочных болтах, что способствует снижению трудозатрат при монтаже.

Рамы из двутавров переменного сечения

Элементы переменного двутаврового сечения (рис. 1) в ригеле и стойках изготавливаются из прокатных двутавров с параллельными гранями полок путем их продольного распуска по наклонной линии на тавры переменной высоты [10].

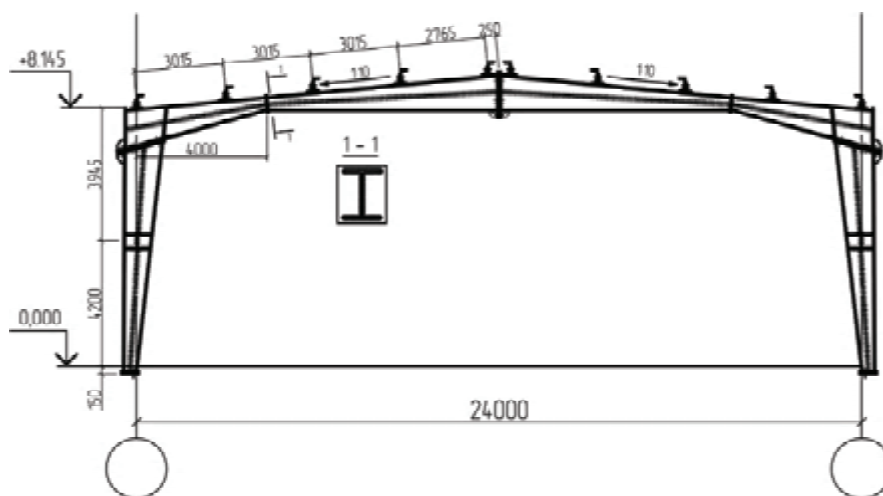


Рисунок 1 – Рама из двутавров переменного сечения.

Сопряжение стоек с фундаментом принимается шарнирным. Сопряжения элементов в карнизных и коньковом узлах приняты жесткими и выполняются на фланцах толщиной 25 мм с применением высокопрочных болтов. Жесткость каркаса в поперечном направлении обеспечивается работой рам, в продольном направлении – вертикальными крестовыми связями и распорками по каждому ряду стоек рам, обеспечивающими устойчивость стоек из плоскости рам.

Рамы переменного сечения позволяют получить экономию стали по сравнению с аналогичными постоянного сечения в среднем до 10...15 %. Но применение таких рам ограничивает в выборе толщин стенки и полок, ширины полок и высот сечений, которые определяются из условия местной устойчивости.

Рамы с гибкой стенкой

По периметру рам переменной жесткости, по сравнению с рамами постоянного сечения, присутствует высокий уровень напряжений. В то же время повышенная деформативность ограничивает применение таких рам в зданиях с большими сосредоточенными нагрузками в пролете рамы.

Особенностью этого конструктивного решения рамы является использование закритической работы стенки ригеля, когда после определенной нагрузки она теряет устойчивость с образованием диагональных складок при сохранении несущей способности. Применение в рамах ригеля из двутавров с гибкими стенками (рис. 2) и стоек переменного сечения из прокатных двутавров позволяет получить эффективную по расходу стали конструкцию.

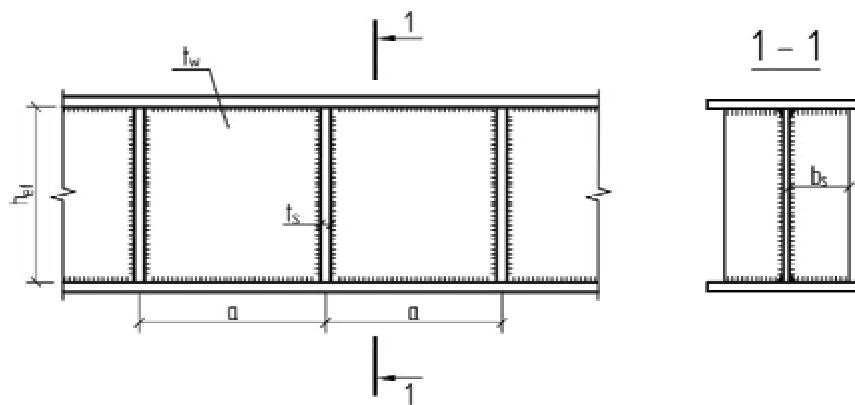


Рисунок 2 – Тонкостенная балка.

Рамы с гибкой стенкой являются дальнейшим воплощением идеи о тесной связи показателей экономической эффективности с понятием тонкостенности. Уменьшение относительной толщины стенки $l_w = h_w / t_w$ в 2...3 раза приводит к снижению расхода металла на стенку на 25...35 % и к концентрации металла в поясах, что выгодно по условиям работы на изгиб.

Применение балок с гибкими стенками уместно при стабильном направлении действия статических временных нагрузок, поскольку работа таких балок при переменных по направлению подвижных и динамических нагрузках еще недостаточно изучена.

Возможно применение балок: с поперечными ребрами, приваренными к стенке – двусторонними и односторонними, или не связанными с нею; без поперечных ребер. Безреберные балки требуют строго централизованного приложения нагрузки в плоскости стенки, ибо пояса их практически не закреплены от закручивания.

Более часто применяют балки с ребрами жесткости, имеющими назначение, как и в обычных балках, для восприятия местных нагрузок от второстепенных балок и для ограничения длины отсека. В работе ребер, подкрепляющих гибкие стенки, есть и свои особенности, определяемые работой стенок в закритической стадии.

Пояса в балках с гибкими стенками работают не только на сжатие, но и на изгиб от натяжения стенки, поэтому целесообразно применять сечения поясов с повышенной жесткостью на изгиб и кручение. По технологичности более предпочтительны сечения с поясами из полосовой стали и широкополочных тавров; при значительных нагрузках возможно применение поясов из прокатных или гнутых швеллеров либо из широкополочных двутавров. Сечения балок с повышенным объемом сварки уступают остальным по трудоемкости изготовления.

Рама с гофрированной стенкой

Здания с конструкциями типа «Алма-Ата» [10] представляют собой рамные каркасы из двутавров с тонкими гофрированными стенками для одноэтажных зданий многоцелевого назначения.

Рама с гофрированной стенкой (рис. 3) представляет собой легкую сварную металлоконструкцию из черного холоднокатаного профлиста, приваренного к стальным полкам из горячего проката. В обычных балках толщина стенок, как правило, определяется не условием прочности, а требованиями устойчивости. Постановка поперечных ребер смягчает ситуацию, позволяя уменьшить толщину стенок и одновременно повышая крутильную жесткость балок [10].

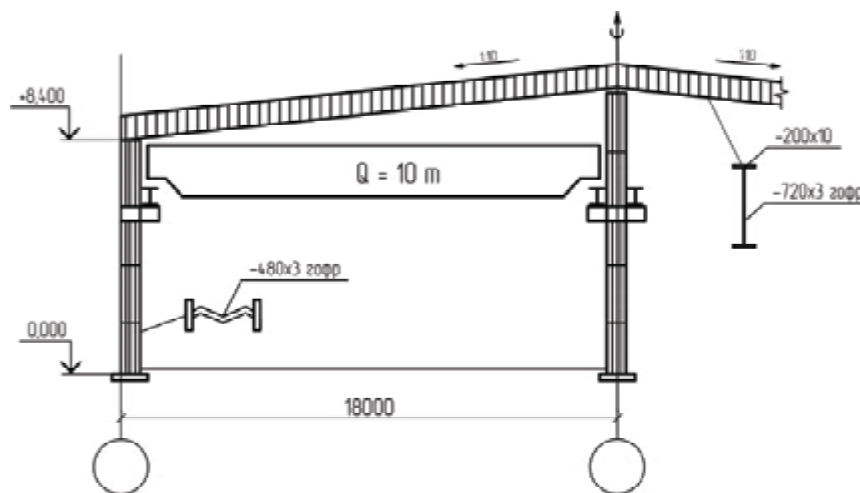


Рисунок 3 – Рама с гофрированной стенкой.

Нормальные напряжения развиваются в стенках лишь у поясов и быстро падают практически до нуля, поскольку жесткость тонкой стенки поперек гофров очень мала; касательные же напряжения распределяются по высоте стенки почти равномерно. Жестко связанные с поясом гофры передают на него усилия, вызывая в поясе переменный по величине и направлению изгиб в его плоскости.

Гофрированная стенка, как и гибкая, имеет толщину 2...8 мм и, следовательно, обладает всеми преимуществами, связанными с тонкостенностью. Изготовление гофрированной стенки требует больших трудозатрат, чем плоских той же толщины, в связи с осуществлением операции гофрирования несколько осложняется сварка поясных швов автоматическим способом. Вместе с тем уменьшение толщины стенки и особенно числа поперечных ребер жесткости ведет к снижению общих трудозатрат на изготовление такой балки по сравнению с обычной сварной на 15...25 % [2].

Также снижается общая металлоемкость здания – экономия составляет около 20...40 % в сравнении с двутавровыми горячекатаными балками.

Рама из перфорированных двутавров

Для получения сечения рамы из перфорированного прокатного двутавра (рис. 4) его стенка разрезается по зигзагообразной ломаной линии с определенным шагом. В результате это приводит к увеличению высоты балки, повышению момента инерции и момента сопротивления сечения. Несущая способность балки увеличивается в несколько раз [3].

Конечный результат приводит к увеличению высоты балки и позволяет перераспределить материал сечения, концентрируя его ближе к периферийным волокнам (полкам), повышая момент инерции и момент сопротивления сечения. Изменение высоты сечения исходного сечения в полтора раза повышает примерно во столько же его момент сопротивления и почти вдвое – момент инерции.

Малоиспользуемая часть сечения стенки в центральной зоне как бы изымается (35...40 % материала стенки), что для большинства балок не представляет какой-либо опасности. Расход металла в таких балках на 20...30 % меньше, чем в обычных прокатных балках, при одновременном снижении стоимости на 10...18 %. Дополнительные затраты труда на разрезку и сварку исходного проката невелики: в сравнении со сварными составными двутаврами по трудоемкости изготовления перфорированные балки на 25...35 % эффективнее за счет сокращения объема сварки и значительно меньшей трудоемкости операций обработки.

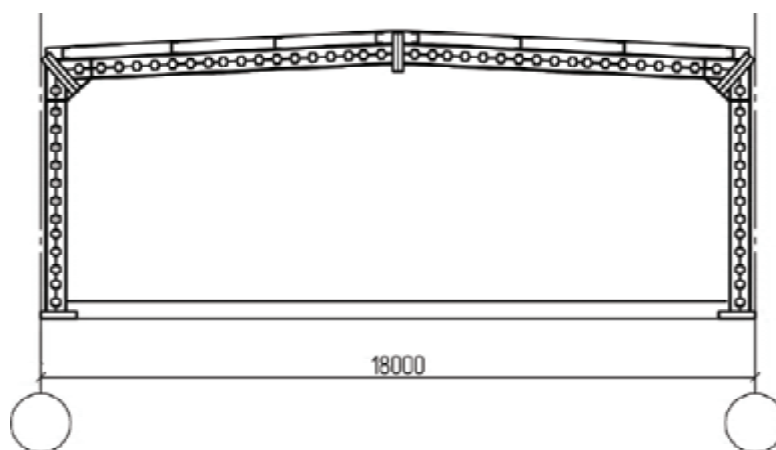


Рисунок 4 – Рама из перфорированного двутавра.

Эти качества в сочетании с компактностью двутавров с перфорированной стенкой, хорошей транспортабельностью и приспособленностью к автоматизированному изготовлению делают их в ряде случаев конкурентоспособными с решетчатыми конструкциями.

В случае действия на балку сосредоточенных, регулярно расположенных грузов необходимо, чтобы положение сплошных участков стенки сквозного двутавра совпадало с положением этих грузов. Исследования показывают, что для однопролетных балок более экономично применять сквозные двутавры из двух марок сталей: верхнюю часть двутавра обычной малоуглеродистой стали с более толстой стенкой, а нижнюю часть из двутавра более прочной стали с более тонкой стенкой [4].

Балки с перфорированной стенкой следует проектировать из прокатных двутавров ($\geq I 20$), как правило, из стали с пределом текучести до 440 Н/мм^2 . Степень развития прокатного профиля (отношение высоты развитой балки к высоте исходного двутавра) рекомендуется принимать $\leq 1,5$. Сварные соединения стенок следует выполнять стыковым швом с полным проваром [7]. Применение перфорированных конструкций сдерживается спецификой их технологии изготовления, которая отличается от традиционной технологии изготовления строительных металлоконструкций [5].

Рамы из гнутосварных тонкостенных профилей

Рамы из гнутосварных тонкостенных профилей (рис. 5) одноэтажных производственных зданий с применением конструкций из гнутосварных труб разработаны для применения в отопляемых и неотапливаемых зданиях без кранов, с подвесными кранами грузоподъемностью от 1 до 5 т и с мостовыми опорными кранами грузоподъемностью 5, 10 и 16 т с режимами работы 1К-5К с неагрессивной или слабоагрессивной средой при относительной влажности внутри помещения не более 70 %.

В торцах здания с подвесными кранами крановые пути опираются на балки либо непосредственно на стойки несущего фахверка.

Сопряжение конструкций крайних стоек рам с фундаментом шарнирное, средних стоек рам и стоек фахверка – жесткое. Сопряжение ригеля рамы с крайними стойками жесткое, со средними стойками – шарнирное.

В торце здания устанавливается несущий торцевой фахверк, состоящий из стоек и балок. Жесткость системы фахверка обеспечивается постановкой системы гибких связей и распорок. В случае предполагаемого расширения здания в торце устанавливается основная несущая рама с самонесущими стойками фахверка.

Устойчивость и геометрическая неизменяемость здания обеспечивается: в поперечном направлении – конструкциями несущих рам; в продольном направлении – системой вертикальных связей и распорок.

Жесткость покрытия обеспечивается системой горизонтальных связей и распорок по ригелю рамы [10].

Рамы из гнутых тонкостенных профилей

Несущий каркас из гнутых тонкостенных профилей выполнен в виде однопролетных рам, расположенных с шагом 3; 4,5 или 6 м в зависимости от параметров здания, действующих нагрузок, нали-

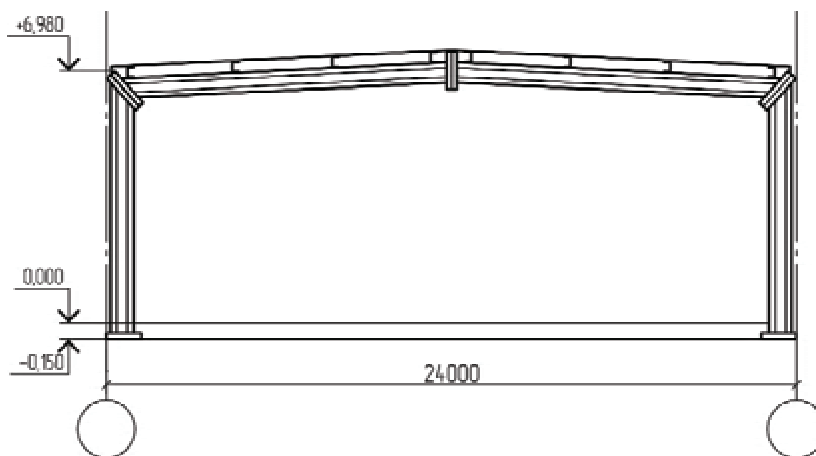


Рисунок 5 – Рама из гнутосварных тонкостенных профилей.

чия кранового оборудования и т. д. Несущая способность элементов каркаса, выполненных из гнутых профилей, в этих случаях обеспечивается за счет изменения толщины профиля.

Колонны каркасов жестко оперты на фундаменты, выполнены из гнутых профилей. Ригель рамы выполнен в виде стропильной треугольной рамы с поясами из гнутых профилей и затяжкой из круглой стали. Оптимальное распределение усилий в ригеле осуществляется за счет изменения эксцентриситета узла крепления затяжки для каждого пролета. Уклон скатов ригеля 25 %. Опираение ригеля на колонны – шарнирное. В торцах здания устанавливаются торцевые рамы и приставные стойки фахверка [8].

ВЫВОДЫ

Вопрос подхода по формообразованию рамных конструкций на современном этапе решается с экономических позиций, а иногда и с учетом общей компоновки и эстетики. Большинство типовых элементов рамных конструкций имеет постоянный по длине профиль.

Повышение эффективности стальных конструкций в рамных конструкциях возможно за счет облегчения кровельных покрытий, рационального применения сталей повышенной прочности, использования тонкостенных сварных двутавров с гофрированными стенками и переменным сечением, тонкостенных гнутых и гнутосварных элементов.

Скорость и простота выполнения монтажных работ легких металлических конструкций на порядок выше, чем при использовании деревянных и железобетонных конструкций.

Уменьшение массы элементов рамных конструкций на потребительскую единицу позволяет снизить затраты при их перевозке, уменьшить мощность транспортных и монтажных средств, а также укрупнить строительные конструкции и, в конечном итоге, снизить трудоемкость и стоимость строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металлические конструкции [Текст]. В 3-х т. Т. 3. Конструкции зданий : Учеб. для строит. вузов / Под ред. В. В. Горева. – М. : Высш. шк., 1999. – 544 с.
2. Проектирование металлических конструкций [Текст] : Спец. курс. Учеб. пособие для вузов / В. В. Бирюлев, И. И. Кошин, И. И. Крылов, А. В. Сильвестров. – Л. : Стройиздат, 1990. – 432 с.
3. Васылев, В. Н. Изготовление конструкции перфорированных балок с гарантированной эпюрой внутренних напряжений в условиях заводов металлоконструкций [Текст] / В. Н. Васылев, Ю. И. Дозоренко // Металлические конструкции. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 49–58.
4. Металлические конструкции [Текст]. Общий курс : Учебник для вузов / Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Ведеников [и др.] ; Под общей ред. Е. И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1985. – 560 с.
5. Патон, Б. Е. Плазменные технологии на рубеже веков [Текст] / Б. Е. Патон // Автоматическая сварка. – 2000. – № 12. – С. 3–5.
6. Дукарский, Ю. М. Исследование облегченных конструкций из развитых двутавров [Текст] / Ю. М. Дукарский, А. Б. Русонник // Промышленное строительство. – 1975. – № 12. – С. 38–39.

7. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* [Текст] / Минрегион России. – М. : ОАО ЦПП, 2011. – 172 с.
8. Гнутые профили проката [Текст] : Сортамент, методы расчета и области применения : Справочник / И. С. Тришевский, Н. М. Воронцов, Ю. В. Дзина [и др.]. – М. : Металлургия, 1968. – 379 с.
9. Металлические конструкции [Текст]. В 3 т. Т. 2. Стальные конструкции зданий и сооружений (Справочник проектировщика) / Под общ. ред. заслуж. строителя РФ, лауреата госуд. премии СССР В. В. Кузнецова ; ЦПИИ Проектстальконструкция им. П. П. Мельникова. – М. : АСВ, 1998. – 512 с.
10. Серия 1.420.3-36.03. Каркасы стальные типа «УНИТЕК». Одноэтажные производственные здания с применением конструкций из профилей стальных гнутых замкнутых сварных квадратных и прямоугольных [Текст]. Выпуск 0-1. Каркасы с одно- и многопролетными рамами пролетами 15, 18, 21, 24 и 30 для бескрановых зданий и зданий с подвесными кранами грузоподъемностью до 5 т. Материалы для проектирования / ООО «Научно-исследовательская и проектно-строительная фирма "УНИКОМ"», ОАО «УРАЛТРУБПРОМ». – [Б. м. : б. и.], 2005. – 246 с.
11. Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings [Текст] : EN 1993-1-1:2005. – Supersedes ENV 1993-1-1:1992. – Brussels : CEN, 2005. – 91 p.
12. AISC Steel Construction Manual [Текст] / American Institute of Steel Construction (AISC). – 13th ed. – [S. l.] : American Institute of Steel Construction (AISC), 2005. – 2190 p. – ISBN 1-56424-055-X.

Получено 07.10.2016

Д. Г. РАДИОНОВ

СУЧАСНІ ТИПИ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ
ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ОДНОПОВЕРХОВИХ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ
ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет»

У статті розглядаються підходи щодо формоутворення рамних конструкцій. За об'єкт досліджень прийнято найбільш поширені типи сталевих рамних конструкцій – рами з прокатних двотаврів, двотаврів змінного перерізу, з гнучкою стінкою, з гофрованою стінкою, з перфорованих двотаврів, з гнutoзварних тонкостінних профілів, з тонкостінних гнутих профілів.

формоутворення рам, рамні конструкції, прокатний профіль, гофрована балка, перфорована балка, розпуск, зигзагоподібний розріз, внутрішні напруження

DMITRY RADIONOV

MODERN TYPES OF FRAME STRUCTURES USED IN THE DESIGN OF SINGLE
STOREY INDUSTRIAL BUILDINGS

SEI LPR «Lugansk National Agrarian University»

The article considers approaches to formation of frame structures. As the object of researches are accepted the most common types of steel framed structures – frame of rolled I-beams, I-beams of variable cross section, with a flexible wall, the corrugated wall of the perforated I-beams, thin-walled notowanych profiles of roll-formed thin-walled profiles.

shaping frames, frame Assembly, rolling profile, corrugated beam, open web beam, dissolution, zigzag cut, the internal stresses

Радионов Дмитро Геннадійович – асистент кафедри будівельних конструкцій ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: розрахунок і проектування будівель і споруд, оцінка стану існуючих сталевих конструкцій.

Радионов Дмитрий Геннадьевич – ассистент кафедры строительных конструкций ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: расчет и проектирование зданий и сооружений, оценка состояния существующих металлических конструкций.

Radionov Dmitry – assistant, Building Structures Department, SEI LPR «Lugansk National Agrarian University». Scientific interests: calculation and design of buildings and structures, condition assessment of existing steel constructions.