

реализуемым в практике проектирования рамных конструкций.

узла и рассчитать стержневую конструкцию с податливыми узлами.

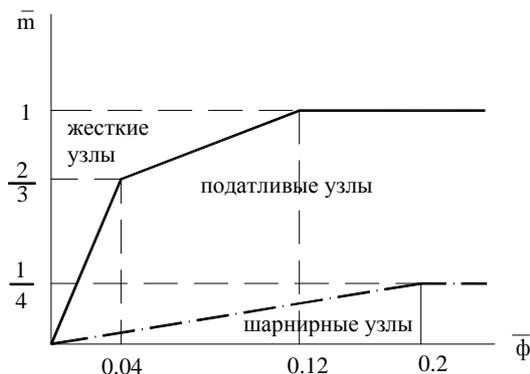


Рисунок 3 – Диаграмма для определения типа узлов.

Что касается критерия оценки типа узлов, то их было предложено несколько. На наш взгляд наиболее универсальным является критерий, принятый в Еврокоде 3 (рис 3.).

$$\text{где } \bar{m} = \frac{M}{M_{pl}}; \bar{\phi} = \frac{EI\phi}{M_{pl}l}$$

M - момент в узле; M_{pl} - предельный пластический момент в узле; ϕ - угол поворота в узле, EI - жесткость ригеля, l - пролет ригеля.

Изложенный материал позволяет проектировщику достаточно просто и с необходимой степенью надежности, обусловленной Нормами проектирования, правильно оценить тип

УДК 624.078.416:696.133

Зинкевич И.В., Лебедь В.А.

К ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ Т-ОБРАЗНЫХ УЗЛОВ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ ТРУБ, ЗАПОЛНЕННЫХ БЕТОНОМ

Конструкции из стальных прямоугольных труб заполненных бетоном имеют ряд бесспорных достоинств (огнестойкость, пониженная металлоемкость, коррозионная стойкость, эстетичность), благодаря чему они находят всё большее применение в практике строительства. В данных конструкциях сжатые элементы целесообразно выполнять в трубобетоне, что позволяет увеличить не только прочность, но и жесткость конструкции. Кроме этого, заполнение полых труб в конструкции бетоном позволяет повысить её огнестойкость. Большое внимание к трубобетону уделяется не только в области мостовых конструкций, но и при высотном строительстве.

Основные факторы, ограничивающие внедрение подобных конструкций, являются: недостаток экспериментальных исследований, недостаточно разработанные технологические решения и как следствие – недостаток научно обоснованных теоретических разработок, оценивающих несущую способность конструкций. При проведении расчета конструкции весьма важна оценка прочности и деформативности узлов, поскольку позволяет учесть реальную работу сооружения. Данная проблема весьма перспективна и в настоящее время

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. В.М. Горпинченко, Б.С.Цетлин, В.М.Туснина. К вопросу расчета гибких соединений ригелей с колоннами.// Строительная механика и расчет сооружений, 1986.-№6.С.10-13.
2. Эстрин Г.Я. Изгибающие моменты в полужестких узлах стальных рам// Экспериментальное исследование и расчет строительных сооружений/ Сб. тр.-М.,1992. С.137-147.
3. Al-Bermani F.G., Kitipornchai S.Elastoplastic Nonlinear Analysis of Flexibly Jointed Space Frames//Journal of Structural Engineering, 1992. -№1. P. 108-127.
4. Bjorhovde R., Brozzetti J., Colson A. Classification system for beam-to-column connections.// J. Struct. Engrg., ASCE 116, 1990.
5. Chen W.F., Lui E.M. Stability Design Criteria for Steel Members and Frames in the United States// J. of Construct. Steel Research, 1985.-№5. P.31-74.
6. Chui P.P-T., Chan S-L. Cyclic Response of Flexibly Jointed Frames//Steel Structures. -Honk Kong. 1996. P.201-208.
7. Ermopopoulos J.Ch., Stamatopopoulos G. N. Moment-rotation curves for semi-rigid column bases//Steel Structures-Eurosteel'95. Rotterdam.-1995. P.211-217.
8. Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten/ Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau Deutsche fassung ENV 1993-1-1.-1992.
9. Szlendak J. Sposob obliczania plaskich ram stężonych z połączeniami podatnymi typu RI// Połączenia podatne w konstrukcjach stalowych. Białystok. 1997. S99-119.
10. Vogel. U. Calibrating Frames//Stahlbau. 1985.-№10. P.295-301.

ей уделяется значительное внимание.

В отечественной нормативной литературе [1] представлена методика расчёта узлов из полых прямоугольных труб. Соответственно нормами учтено:

- продавливание (выравнивание) участка стенки пояса, контактирующего с элементом решетки;
- несущая способность участка боковой стенки пояса (параллельной плоскости узла) в месте примыкания сжатого элемента решетки;
- несущая способность элемента решетки в зоне примыкания его к поясу;
- прочность сварных швов прикрепления элемента решетки к поясу.

Формулы, представленные в пособии по проектированию [1], ориентированы в большей степени на расчет узлов ферм. Следует отметить, что в левой части расчетных формул присутствует изгибающий момент, который отсутствовал в первых редакциях норм. Существующая отечественная нормативная литература не рассматривает узлы из прямоугольных труб, усиленных напрягающим бетоном.

Лебедь Виталий Алексеевич. Ассистент каф. начертательной геометрии и черчения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224107, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура

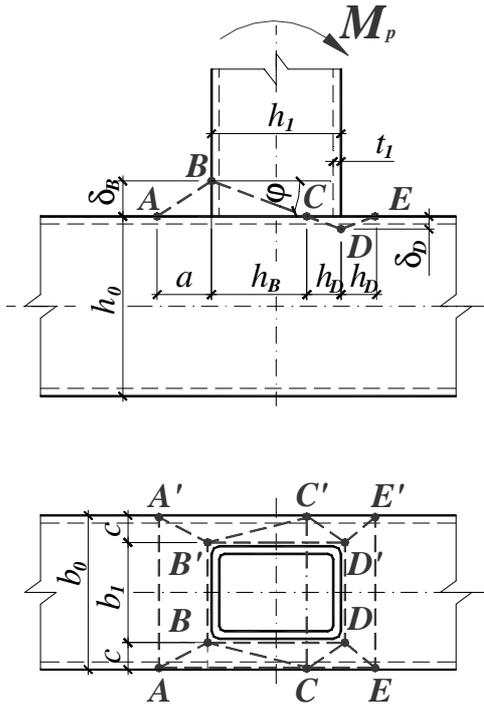


Рисунок 1 – К расчету прочности узлов с параметром $\beta \leq 0,8$.

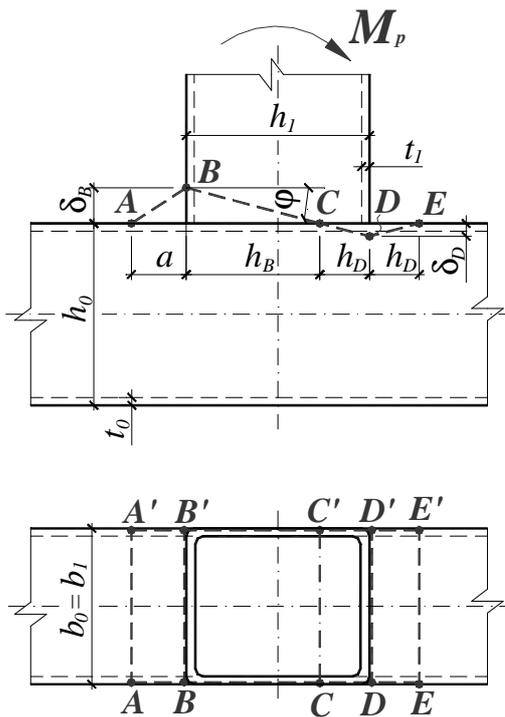


Рисунок 2 – К расчету прочности узлов с параметром $\beta = 1,0$.

В лабораториях Брестского государственного технического университета и Белостокской политехники было проведено испытание серии Т-образных узлов из прямоугольных труб, полых и заполненных напрягающим бетоном, (17 штук) с различными геометрическими характеристиками. При проведении исследований было экспериментально установлено и теоретически обоснованно, что, заполнение полых труб напрягающим бетоном позволяет повысить прочность узлов конструкций до 25%, а их жесткость до 60% [2]. Применение напрягающего бетона для заполнения стальных полых труб

обусловлено необходимостью обеспечения совместной работы бетонного ядра со стальной оболочкой [3]. Совместность работы обычного бетона и стальной трубы может утрачиваться в процессе работы трубобетонного элемента вследствие различных коэффициентов Пуассона бетона и стали, а также из-за реологических явлений (явление усадки) протекающих в бетонном ядре [4].

При проведении собственных экспериментальных и численных исследований было отмечено принципиальное отличие работы узлов из полых прямоугольных труб и заполненных бетоном. Прежде всего, отличие состоит в смещении оси поворота к сжатой полке трубы. Величина смещения зависит от геометрических характеристик элементов в узле и прочностных характеристик металла и бетона. В результате численных исследований было установлено, что целесообразно применение бетонов с прочностью на смятие в интервале [20;40], дальнейшее увеличение прочности бетона сопровождается незначительным приростом прочности и жесткости самого узла.

На основании результатов физического и численного эксперимента были предложены схемы образования пластических шарниров в предельном состоянии Т-образных узлов из прямоугольных труб, заполненных бетоном, и получена разработанная на их основе по методу предельного равновесия методика расчета прочности данных узлов. Также была получена методика расчета упругой жесткости узлов и феноменологическая зависимость «момент-угол поворота» для узлов с параметром $\beta \leq 0,8$ [2].

В полученных расчётных формулах приняты следующие обозначения:

$$m_p = \frac{\sigma_y \cdot t_0^2}{4} - \text{погонный пластический момент полки}$$

стойки;

$$\beta = \frac{b_1}{b_0}, \eta = \frac{h_1}{b_0}, \lambda_0 = \frac{b_0}{t_0}, \lambda_1 = \frac{b_1}{t_1},$$

где σ_y – предел текучести полки стойки, b_1 – ширина сечения ригеля,

b_0 – ширина сечения стойки, h_1 – высота сечения ригеля,

t_0 – толщина стенки колонны, t_1 – толщина стенки ригеля.

При решении задачи прочности узлов использован метод предельного равновесия в кинематической постановке. Полагая, что материал в узле работает как идеально жесткопластическое тело, в предельном состоянии образуется четырехшарнирная линия текучести ABDE (рис.1, 2). Расчетные схемы приняты исходя из результатов экспериментальных и численных исследований. Варьируемые параметры найдены из минимума энергии системы.

Формула для расчета прочности узлов с параметром $\beta \leq 0,8$ имеет вид:

$$M_p = \sigma_y \cdot h_1 \cdot t_0^2 \cdot \left(\frac{1}{\eta} + \frac{2 \cdot (1-k)}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{2 \cdot \eta}{1-\beta} \cdot \left[(1-k)^2 + 2 \cdot k^2 \right] + \frac{1}{6} \cdot \frac{\sigma_{bp}}{\sigma_y} \cdot \eta \cdot \lambda_0^2 \cdot k^2 \cdot (1+5 \cdot \beta) \right), \quad (1)$$

где

$$k = \frac{6 \cdot (\sqrt{1-\beta} + 2 \cdot \eta)}{\eta \cdot \left(36 + \frac{\sigma_{bp}}{\sigma_y} \cdot \eta \cdot \lambda_0^2 \cdot (1-\beta) \cdot (1+5 \cdot \beta) \right)}$$

Таблица 1 - Сводная таблица результатов экспериментально-теоретических исследований прочности Т-образных узлов из прямоугольных труб полых и заполненных напрягающим бетоном.

№ узла	h_0 мм	b_0 мм	t_0 мм	h_1 мм	b_1 мм	t_1 мм	l_p м	β	λ_0	η	σ_{y0} МПа	σ_{y1} МПа	P_0 кН	P_u кН	M_u кН*м	M_{exp} кН*м	M_{teor} кН*м	$\frac{M_{exp}}{M_{teor}}$	Вид разр.
PB01	140	140	5,2	80	80	4,3	0,42	0,57	26,9	0,57	400	479	422	20,5	8,5	5,8	6,10	0,94	1
PB06	140	140	7,1	80	80	4,4	0,41	0,57	19,7	0,57	392	479	422	32,0	13,1	10,5	10,70	0,98	1
PB11	140	140	7,0	80	80	4,2	0,41	0,57	20,0	0,57	400	479	422	35,0	14,4	11,2	10,68	1,05	1
PS02	140	140	7,1	100	100	5,1	0,42	0,71	19,7	0,71	380	457	422	48,8	20,2	15,2	-	-	1
PB04	140	140	5,1	100	100	5,1	0,42	0,71	27,5	0,71	373	457	422	36,0	14,9	9,9	9,10	1,09	1
PB05	140	140	7,0	100	100	5,2	0,41	0,71	20,0	0,71	380	457	422	58,0	23,5	17,1	16,90	1,01	1
PB07	140	140	5,3	100	100	4,4	0,41	0,71	26,4	0,71	373	457	422	35,0	14,2	10,0	9,97	1,00	1
PB08	140	140	7,0	100	100	4,3	0,40	0,71	20,0	0,71	369	457	422	50,0	20,0	16,5	16,22	1,02	1
PS12	140	140	7,1	100	100	4,3	0,41	0,71	19,7	0,71	380	457	422	41,0	16,7	14,5	-	-	1
PB03	140	140	7,1	120	120	5,2	0,41	0,86	19,7	0,86	369	404	422	80,0	32,8	-	-	-	3
PB09	140	140	7,0	120	120	5,2	0,41	0,86	20,0	0,86	375	404	422	77,5	31,8	-	-	-	3
PB10	140	140	5,2	120	120	5,2	0,41	0,86	26,9	0,86	373	404	422	64,0	26,2	19,5	19,62	0,99	1
PB13	80	80	4,0	80	80	4,0	0,34	1,00	20,0	1,00	243	368	325	27,0	9,3	7,0	7,62	0,91	1
PS14	80	80	4,0	80	80	4,0	0,34	1,00	20,0	1,00	252	374	305	22,0	7,5	-	-	-	2
PB15	80	80	4,0	80	80	4,0	0,36	1,00	20,0	1,00	240	362	330	22,0	8,0	7,3	7,67	0,95	1
PS16	70	70	3,0	70	70	3,0	0,41	1,00	23,3	1,00	356	449	305	14,8	6,0	-	-	-	2
PB17	70	70	3,0	70	70	3,0	0,41	1,00	23,3	1,00	363	458	310	22,0	9,0	5,9	6,10	0,97	1

Вид разрушения: 1 – разрушение узла (полки стойки), 2 – местная потеря устойчивости стенки стойки, 3 – разрушение по сварному шву.

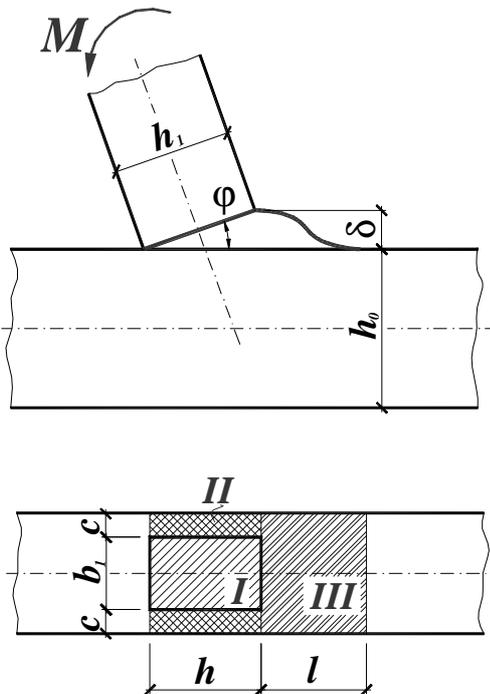


Рисунок 3 – К расчету упругой жесткости узлов с параметром $\beta \leq 0,8$.

Для узлов с параметром $\beta=1$ формула прочности примет вид:

$$M_p = \sigma_y \cdot h_1 \cdot t_0^2 \times \left(\frac{1}{\eta} + \sqrt{2 \cdot \lambda_0} \cdot (1-k) + \eta \cdot \lambda_0 \cdot \left((1-k)^2 + k^2 \cdot \left(2 + \frac{\sigma_{bp}}{\sigma_y} \cdot \lambda_0 \right) \right) \right), \quad (2)$$

$$\text{где } k = \frac{1 + \eta \cdot \sqrt{2 \cdot \lambda_0}}{\eta \cdot \sqrt{2 \cdot \lambda_0} \cdot \left(3 + \frac{\sigma_{bp}}{\sigma_y} \cdot \lambda_0 \right)}$$

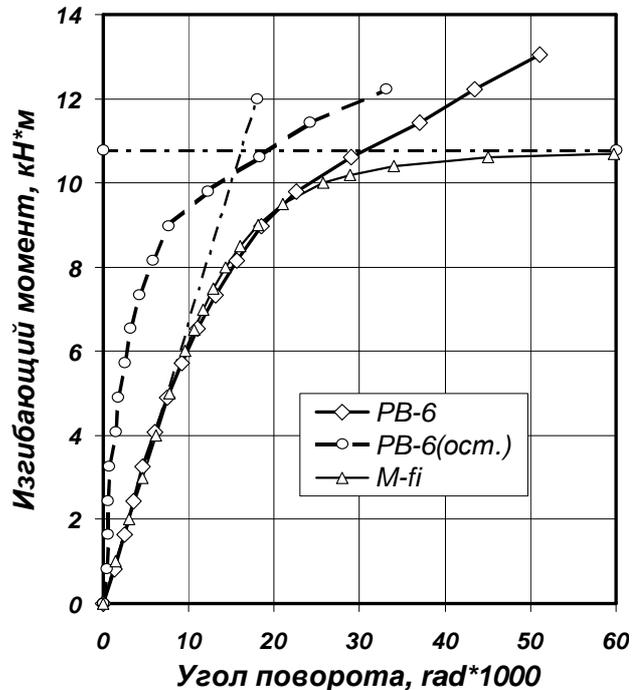


Рисунок 4 – Узел PB-6 с бетоном ($\beta=0,57, \lambda=19,7$).

Предлагаемая методика расчета прочности Т-образных узлов из прямоугольных труб, заполненных бетоном, позволяет получить хорошо согласующийся с экспериментом результат (табл.1) и может быть рекомендована для практических расчетов.

При выведении формулы упругой жесткости узлов заполненных бетоном деформированная область полки стойки разделялась на регионы (рис.3). Для каждого региона находилась закон деформирования, вычислялась энергия деформирования.

С учетом того, что на упругой стадии жесткость узла прямо пропорциональна действующему моменту и обратно пропорционально углу поворота, из равенства работ внешних и внутренних сил выражалась упругая жесткость узла:

$$G_0 = \frac{2 \cdot E \cdot \eta \cdot t_0^3}{15 \cdot (1 - \nu^2) \cdot (1 - \beta)^3} \times (578 \cdot \eta \cdot (1 - \beta)^3 - 3 \cdot (1 - \nu) \cdot (1 - \beta)^2 + 20 \cdot \eta^2) \quad (3)$$

Для описания нелинейной работы узла в основу принята функция Ramberga-Osgooda.

$$\varphi = \frac{M}{G_0 \cdot \left(1 - \left(\frac{M}{M_p} \right)^k \right)^{\frac{1}{k}}} \quad (4)$$

где φ – угол поворота ригеля в узле, M – действующий в узле изгибающий момент, k – параметр определяемый экспериментально. В отличие от функции Ramberga-Osgooda значения предельного момента M_p и упругой жесткости G_0 находятся по предложенным выше формулам (1) и (3).

На рис.4 представлены экспериментальные зависимости «момент-угол поворота» ($M-\varphi$) для Т-образных бесфасоночных узлов со стойками, заполненными бетоном; РВ-б(ост.) – остаточные углы поворота ригеля, измеренные после снятия прикладываемой к ригелю нагрузки; $M-fi$ – полученная по предлагаемой феноменологической зависимости (4) теоретическая кривая «момент-угол поворота»; верхний предел, показанный на рисунках горизонтальной штрих-пунктирной линией, к которой асимптотически стремиться кривая $M-fi$ – предельный воспринимаемый узлом момент, вычисляемый по предложенной методике (1), (2); наклонная штрих-пунктирная линия, касательная к кривой $M-fi$ в начале координат – упругая жесткость узла, вычисляемая по предложенной формуле (3).

Результаты, получаемые по формулам (3) и (4), удовлетворительно согласуются с экспериментом. Зависимость (4) рекомендуется к использованию при компьютерном расчете

УДК 69.057.4:621.882

Чистяков А.М., Черноиван Н.В.

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ УЗЛОВ БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ ЗДАНИЙ

Сегодня все большее применение при возведении жилых зданий коттеджного типа во всем мире находят быстровозводимые модули на основе легких конструкций. Преимуществом таких зданий является возможность их возведения без использования кранового оборудования, что позволяет вести строительство в стесненных условиях и на труднодоступных площадках. Однотипность конструкций быстровозводимых зданий даёт возможность обеспечить существенное снижение трудоемкости общестроительных работ и гарантировать высокое качество при их выполнении.

Высокие эксплуатационные качества, технологичность возведения обусловили разработку проектных решений зданий такого типа во многих странах СНГ. Одной из наиболее перспективных разработок в этой области является система «Монопанель», созданная в ЦНИИЛМК (г. Москва, Россия) и позволяющая возводить жилые здания коттеджного типа [1, 2].

В качестве несущего стенового ограждения быстровозводимых зданий может быть использована разработанная и прошедшая апробацию в экспериментальном строительстве многослойная панель [3, 4]. Применение этой панели в системе «Монопанель» позволяет обеспечить гибкие архитектурно-планировочные решения и возможность их трансформации.

С целью внедрения системы «Монопанель» с многослойной несущей стеновой панелью в практику строительства

стальных конструкций с использованием итерационных процессов.

ВЫВОДЫ

1. Заполнение прямоугольных труб бетоном позволяет повысить прочность узлов по отношению к полым на 20 – 40 %, жесткость на 30 – 60 %.
2. Результат расчета Т-образных бесфасоночных узлов из прямоугольных труб, заполненных бетоном, по впервые предложенной методике определения предельного момента хорошо согласуется с данными эксперимента и рекомендуется для практических расчетов.

Впервые полученная формула упругой жесткости и феноменологическая зависимость «момент-угол поворота» для Т-образных бесфасоночных узлов из прямоугольных труб, заполненных бетоном, с параметром $\beta \leq 0,8$, позволяет получить результат, имеющий удовлетворительное совпадение с данными эксперимента. Данная методика рекомендуется для использования при компьютерном расчете стальных конструкций из прямоугольных труб, заполненных бетоном, с использованием итерационных процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) – Москва, 1989. – 149с.
2. Лебедь В.А. Прочность Т-образных узлов из прямоугольных труб, заполненных бетоном: Дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01/ Брест. гос. техн. ун-т – Брест, 2001. – 147 с.
3. Лукша Л.К. Прочность трубобетона. — Мн.: «Вышэйшая школа», 1977. – 95с.
4. Зинкевич И.В., Лебедь В.А., Мухин А.В. К усилению Т-образных узлов из прямоугольных труб бетонами на напрягающих цементах// Технологии современных конструкций: Материалы юбилейной междунар. науч.-техн. конф. Кишинёв, 24-26 мая 2000г./ Молдавский техн. ун-т. – Кишинёв, МТУ, 2000. – С. 237-240.

разработаны конструктивные решения узлов соединения предлагаемой панели с элементами жилых зданий коттеджного типа.

УЗЕЛ КРЕПЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ НЕСУЩЕЙ СТЕНОВОЙ ПАНЕЛИ С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РАМОЙ ОСНОВАНИЯ

Для крепления многослойной стеновой панели с металлической рамой основания (рис. 1) предлагается два варианта конструктивного решения. Различие вариантов узла крепления обусловлено тем, что жесткая рама основания может быть решена в двух вариантах: из зетобразного холодногнутого стального профиля (рис. 1а) или из швеллеров (рис. 1б).

В первом варианте жесткая рама основания изготавливается из зетобразных холодногнутого профилей, полученных гнутьем стального листа сечением 400×8 мм. Гнутые профили усилены ребрами жесткости, установленными с шагом 750 мм. Соединение ребер жесткости с элементами профиля осуществляется с помощью электродуговой ручной сварки (ГОСТ 5264-80*) с катетом шва $k=5$ мм. Ребра жесткости изготовлены путем термической резки по диагонали стальных листов 140×60×8 мм. К верхней грани большей полки зетобразных холодногнутого профилей электродуговой ручной прерывистой сваркой (ГОСТ 5264-80*) с катетом шва $k=5$ мм приварена стальная полоса сечением 40×6 мм. Она служит

Чистяков Анатолий Михайлович Д.т.н., профессор, академик РИА, директор ЦНИИЛМК (г. Москва).

Черноиван Николай Вячеславович. К.т.н., ст. преподаватель каф. строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224107, г. Брест, ул. Московская, 267.