

---

## Исследование работы стальных рам с элементами переменного сечения, образованных путем диагонального роспуска двутавров по ГОСТ Р 57837-2017

*С.В. Щуцкий, С.В. Коржов, А.А. Лиманцев*

*Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Рассмотрен процесс оптимизации применяемых сечений в стальных рамах с элементами переменной жесткости, образованных из прокатных двутавров путем их диагонального роспуска и последующей сваркой. Предложена таблица с группами двутавров по ГОСТ Р 57837-2017, которые целесообразно применять совместно для образования моносимметричного двутавра переменной высоты. Предложен алгоритм нахождения оптимального сечения с учетом дискретности сортамента. Произведен расчет типовой строительной конструкции шифр 828КМ по предложенному алгоритму и представлен сравнительный анализ применяемых сечений с найденными оптимизированными сечениями. Отмечена возможность получения более экономичной несущей конструкции как с точки зрения металлоемкости, так и с точки зрения стоимости проката.

**Ключевые слова:** переменное сечение, переменная жесткость, диагональный роспуск, двутавр, стальная рама.

Одной из основных и актуальных проблем современных инженерно-прикладных исследований является ресурсосбережение, имеющее непосредственное практическое значение для строительной отрасли и экономики Ростовской области.

В настоящее время, на фоне изоляции российской экономики от западных стран, увеличивающимися темпами происходит реиндустриализация - восстановление собственной промышленности [1]. Доля промышленных и промышленно-складских зданий в строительной отрасли повышается.

В связи с тем, что наиболее распространенной конструктивной схемой промышленно-складских зданий является металлический каркас из рам с соответствующей системой горизонтальных и вертикальных связей, в работе рассматриваются оптимальные варианты конструирования стальных рам из двутавров переменной жесткости.

На сегодняшний день здания с рамами переменного сечения выпускаются в России многими заводами, оснащенными оборудованием для резки и сборосварки двутавров, например, заводы ООО «ЛИЗСК» г. Липецк и ООО «ЧЗСБ» г. Челябинск. Наиболее массовое применение находят однопролетные рамы с пролетами от 12 до 36 м с шарнирным опиранием стоек на фундамент и жестким сопряжением ригеля с крайними стойками.

Отечественная и зарубежная практика проектирования предлагает следующие варианты конструирования подобных рам:

- 1) использование в качестве стоек и ригелей рам двутавров с перфорированной стенкой;
- 2) использование в качестве стоек и ригелей рам двутавров с гофрированными стенками;
- 3) использование в качестве стоек и ригелей рам двутавров с волнистыми стенками;
- 4) использование в качестве стоек и ригелей рам сварных двутавров с стенкой переменной высоты;
- 5) использование в качестве стоек и ригелей рам прокатных двутавров переменной высоты, образованных из обычных двутавров путем диагонального роспуска стенок с последующей сваркой.

В качестве предмета исследования выбран каркас с применением рам из прокатных двутавров переменной высоты, образованных роспуском и последующей сваркой стенок обычных двутавров.

---

---

Основным этапом проектирования каркасов из поперечных рам переменного сечения является статический расчет конструкций на действие внешних нагрузок. Помимо задач статического расчета, на данном этапе выполняется поиск эффективной геометрии рам, оптимального распределения жесткостей, оптимизация сечений и технологичности изготовления [2-4]. Для уменьшения массы рамных конструкций рядом исследователей в области проектирования рам переменной жесткости рекомендуется повышать изгибную жесткость сечений за счет увеличения их высоты в местах действия изгибающих моментов с максимальными градиентами, например, в зоне карнизного узла рамы [5]. Настоящий прием позволяет перераспределить изгибающие моменты в зону сопряжения стоек и ригелей рамы, разгрузив пролеты рамы, что позволяет уменьшить металлоемкость и деформативность данных рам.

Исследованиями в области подбора оптимальных размеров двутавровых сечений [6,7] установлено, что определяющим фактором, влияющим на экономичность изгибаемых двутавров, являются высота сечения и гибкость стенки. В настоящей работе не рассматриваются двутавры, работа стенки которых происходит в закритической стадии, так как в прокатных двутаврах применяется устойчивая стенка, предельная гибкость которой, как правило, не превышает 150 [8].

Оптимальная высота сечения изгибаемого двутавра находится по известной формуле[9]:

$$h_{opt} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \cdot W \cdot \lambda}$$

, где  $\lambda = h/t$  -гибкость стенки двутавра.

---

Конечные преобразования данной формулы, включающей параметр определяющий долю напряжения от продольной силы  $\psi = \frac{\sigma_N}{R_y}$ , в частности отраженные в монографии [5], выглядят следующим образом:

$$h_{opt} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \cdot \frac{W_M \cdot \lambda}{1 - \psi}}$$

Из данной формулы следует, что оптимальная высота двутавра увеличивается при действии на него сжимающей силы пропорционально параметру  $\sqrt[3]{\frac{1}{1 - \psi}}$ . Фактически сжимающая продольная сила приводит к смещению нейтральной оси сечения и увеличению высоты сжатой зоны стенки, что отрицательно влияет на ее местную устойчивость.

Исследования по зависимости величин смещения нейтральной оси [10] от изменения толщины стенки по высоте двутавров, позволяют сделать вывод о том, что влияние смещения нейтральной оси незначительно и при параметре  $\psi < 0.2$ , характерном для рамных конструкций, составляет не более 3% относительно центра тяжести сечения двутавра с постоянной толщиной стенки. Следовательно, для конструирования элементов рамы переменного сечения нерационально использовать двутавры с различной толщиной стенки, усложняя технологический процесс сварки различных стенок. Также наличие продольной сжимающей силы существенно влияет на увеличение площади полки симметричного двутаврового сечения, поэтому при  $0.05 < \psi < 0.1$  становится рациональным применение моносимметричных двутавров с развитой сжатой полкой.

В отечественных сериях в качестве сжатых и растянутых поясов стоек и ригелей рам применяются прокатные двутавры одинакового сечения. С учетом вышеизложенных положений предлагается использовать прокатные



двутавры разного профиля, имеющие различные площади полок, с роспуском стенок по диагонали и последующей сваркой.

Сборка прокатных двутавров производится посредством выполнения продольного стыкового шва односторонним механизированным способом на флюсовой подушке. Допускается вышеуказанные швы выполнять механизированным способом в среде  $CO^2$  односторонними (на глубину не менее половины толщины стенок двутавров), за исключением участков в карнизных участках рам, где сварные швы должны быть двухсторонними (на длине 1000 мм в стойках рам и 1500 мм - в ригелях рам). Данное требование накладывает ограничения в применимости различных позиций сортамента двутавров. Элементы сборок, находящихся на противоположных сторонах от стыкового шва, должны иметь одинаковую толщину стенок. По данному требованию составлена таблица сгруппированных возможных сечений двутавров по ГОСТ Р 57837-2017, применяемых для конструирования отправочного элемента рамы переменной жесткости с постоянной толщиной стенки.

Таблица 1.

Толщина стенки, мм	Сечение	Высота сечения, мм	Ширина полки, мм	Толщина полки, мм
7,0	35Б2	350,0	175,0	11,0
	40Б1	396,0	199,0	11,0
	25Ш1	244,0	175,0	11,0
	30Ш0	290,0	199,0	10,0
	15К2	150,0	150,0	10,0
8,0	20Б3	208,0	102,0	12,0
	30Б3	305,0	151,0	11,5
	40Б2	400,0	200,0	13,0
	45Б1	446,0	199,0	12,0
	30Ш1	294,0	200,0	12,0
	35Ш1	334,0	249,0	11,0
	20К2	200,0	200,0	12,0
	25К1	246,0	249,0	12,0
9,0	25Б4	260,0	127,0	14,0
	45Б2	450,0	200,0	14,0



Толщина стенки, мм	Сечение	Высота сечения, мм	Ширина полки, мм	Толщина полки, мм
	50Б2	496,0	199,0	14,0
	20Ш3	204,0	152,0	14,0
	30Ш2	300,0	201,0	15,0
	35Ш2	340,0	250,0	14,0
	20К3	204,0	201,0	14,0
	25К2	250,0	250,0	14,0
	30К1	298,0	299,0	14,0
9,5	30Б4	310,0	152,0	14,0
	40Б3	406,0	201,0	16,0
	55Б1	543,0	220,0	13,5
	40Ш1	383,0	299,0	12,5
10,0	35Б4	361,0	177,0	16,5
	50Б3	500,0	200,0	16,0
	55Б2	547,0	220,0	15,5
	60Б1	596,0	199,0	15,0
	40Ш2	390,0	300,0	16,0
	45Ш0	434,0	299,0	15,0
	15К4	160,0	152,0	15,0
	25К3	253,0	251,0	15,5
	30К2	300,0	300,0	15,0
	35К1	342,0	348,0	15,0
11,0	40Б4	412,0	202,0	19,0
	60Б2	600,0	200,0	17,0
	20Ш4	211,0	155,0	17,5
	30Ш3	306,0	203,0	18,0
	35Ш3	347,0	252,0	17,5
	45Ш1	440,0	300,0	18,0
	50Ш1	482,0	300,0	15,0
	25К4	257,0	252,0	17,5
	30К4	304,0	301,0	17,0
	35К1,5	346,0	349,0	17,0
40К1	394,0	398,0	18,0	
12,0	45Б4	462,0	202,0	20,0
	50Б4	508,0	201,0	20,0
	55Б3	553,0	221,0	18,5
	70Б1	691,0	260,0	15,5
	40Ш3	397,0	302,0	19,5
	60Ш1	582,0	300,0	17,0
	15К5	166,0	153,0	18,0
	20К5	214,0	202,0	19,0
	30К5	308,0	301,0	19,0
	35К2	350,0	350,0	19,0



Толщина стенки, мм	Сечение	Высота сечения, мм	Ширина полки, мм	Толщина полки, мм
13,0	20Ш5	218,0	157,0	21,0
	25Ш4	264,0	182,0	21,0
	30Ш4	314,0	206,0	22,0
	35Ш4	354,0	254,0	21,0
	45Ш2	446,0	302,0	21,0
	70Ш1	692,0	300,0	20,0
	30К6	312,0	302,0	21,0
	40К2	400,0	400,0	21,0
14,0	55Б4	560,0	222,0	22,0
	80Ш2	792,0	300,0	22,0
	20К6	220,0	202,0	22,0
	25К6	267,0	253,0	22,5
14,5	70Б3	702,0	261,0	21,0
	40Ш4	406,0	304,0	24,0
	50Ш2	487,0	300,0	17,5
	30К7	316,0	302,0	23,0
	30К8	316,0	357,0	23,0
15,0	50Б5	516,0	202,0	24,0
	60Б4	612,0	202,0	23,0
	45Ш3	452,0	304,0	24,0
	70Ш2	698,0	300,0	23,0
	90Ш1	881,0	299,0	18,5
	90Ш2	890,0	299,0	23,0
	30К3	300,0	305,0	15,0
	35К4	360,0	352,0	24,0
16,0	25Ш5	274,0	184,0	26,0
	30Ш5	326,0	208,0	28,0
	35Ш5	364,0	258,0	26,0
	60Ш2	589,0	300,0	20,5
	100Ш1	990,0	320,0	21,0
	20К7	226,0	203,0	25,0
	25К7	274,0	258,0	26,0
	30К9	322,0	358,0	26,0
	40К3	406,0	403,0	24,0

Данный сортамент балочных элементов более актуален, чем СТО АСЧМ 20-93 и имеет больше позиций, что позволяет подобрать параметры сечения наиболее близкие к требуемым. Рационально для конструирования отправочного элемента применять прокатные двутавры, находящиеся на противоположных позициях группы. Как правило, у колонных и

широкополочных двутавров более развитая ширина и толщина полки, что позволяет применять их в сжатой зоне элемента рамы. В ситуации, при которой один прокатный профиль имеет большую ширину полки, но меньшую толщину полки, чем другой прокатный профиль из группы, предпочтение в качестве элемента сжатой зоны отдается двутавру с большей толщиной полки, вследствие ее повышенного влияния на момент сопротивления сечения.

Так, при требуемой толщине стенки двутавра переменного сечения 8 мм, в качестве изделия для конструирования пояса сжатой зоны рационально применить двутавр 40Б2, для растянутой зоны 35Ш1 или 30Б3. При этом следует проверять, достаточно ли будет выбранной пары двутавров для конструирования сечения нужной высоты.

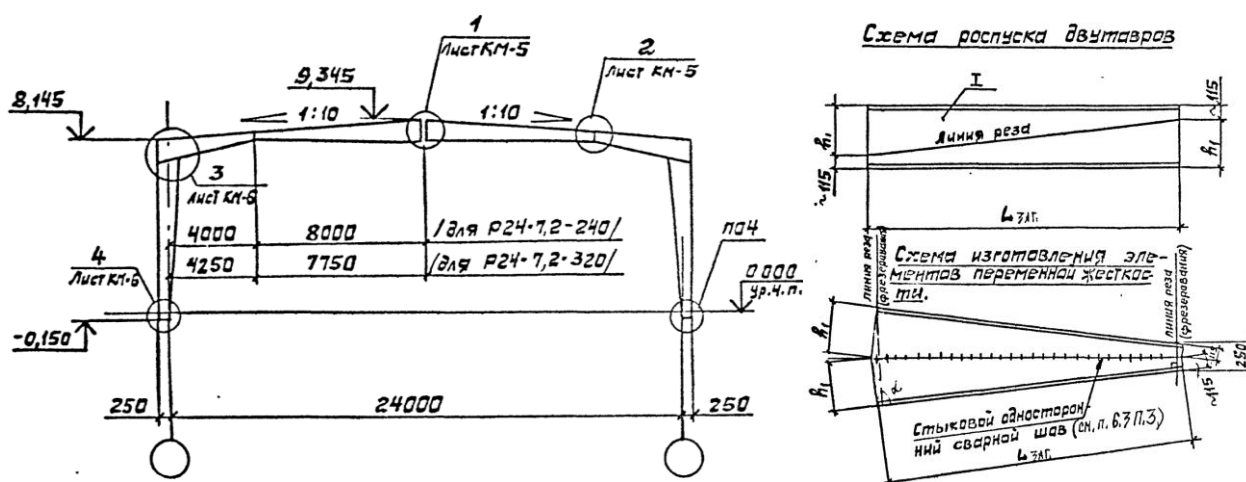


Рис. 1 – Схема рамы шифр 828КМ, схема роспуска двутавра.

В качестве объекта исследования выбран каркас здания плавательного бассейна, запроектированного по рамно-связевой схеме из сварных однопролетных рам с элементами переменного сечения по шифру 828МК (рис. 1). Рамы с жесткими верхними узлами и шарнирным опиранием на фундамент. Ригель двускатный с уклоном 10 %. В исходном проекте ригели и стойки получают путем роспуска (по наклонной линии) двутавров 50 Б2 и



55 Б2 по ГОСТ 26020-83 на тавры с последующей кантовкой их на  $180^{\circ}$  и сваркой. Соединения в узлах рамы на высокопрочных болтах М24 из стали 40Х «Селект». Пролет рам 24м; шаг рам 6м; высота ригеля 8,295м (по крайней оси). Центральная части ригеля рамы выполнена из балки переменного сечения с максимальной высотой в коньке здания. Часть ригеля рамы, примыкающая к карнизному узлу выполнена отдельной отправочной маркой с максимальной высотой сечения в зоне карнизного узла. Стойка рамы выполнена отдельной отправочной маркой, примыкание к боковой части ригеля рамы осуществлено посредством фланцевого соединения.

Был произведен расчет рамы на действие постоянной и равномерно распределенной снеговой нагрузки Эпюры внутренних усилий от сочетания этих нагрузок представлены на рис. 2–4.

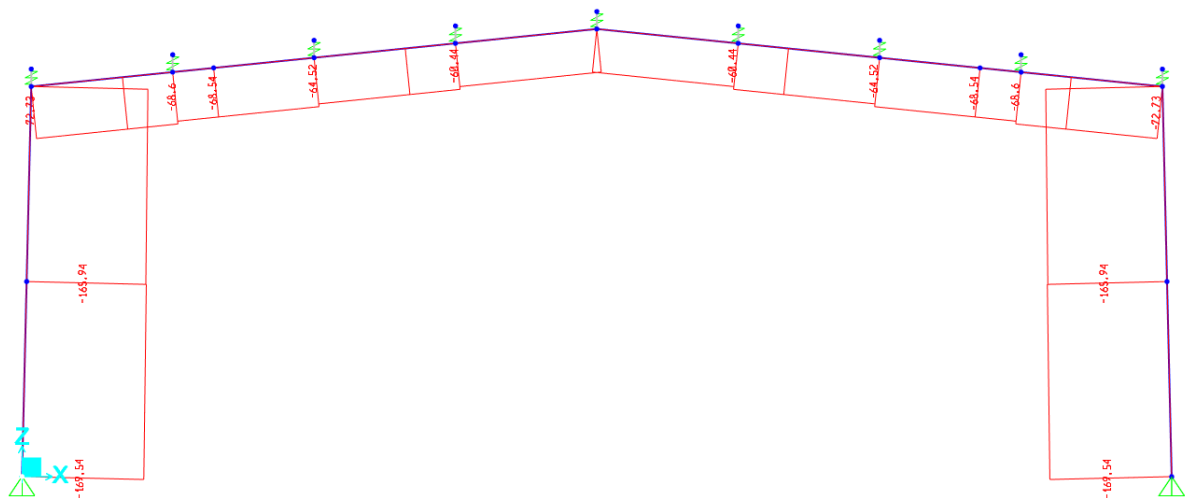


Рис. 2 – Эпюра N

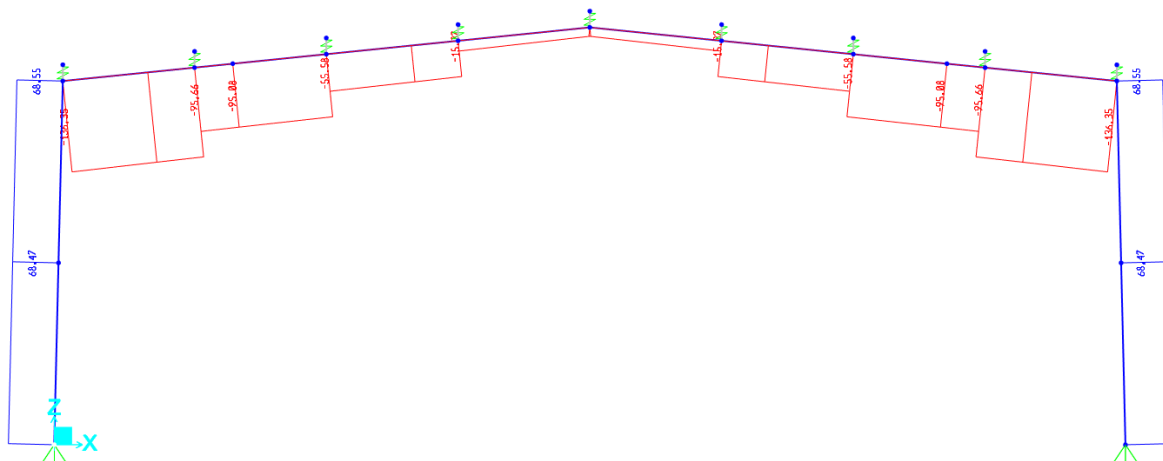


Рис. 3 – Эпюра Q

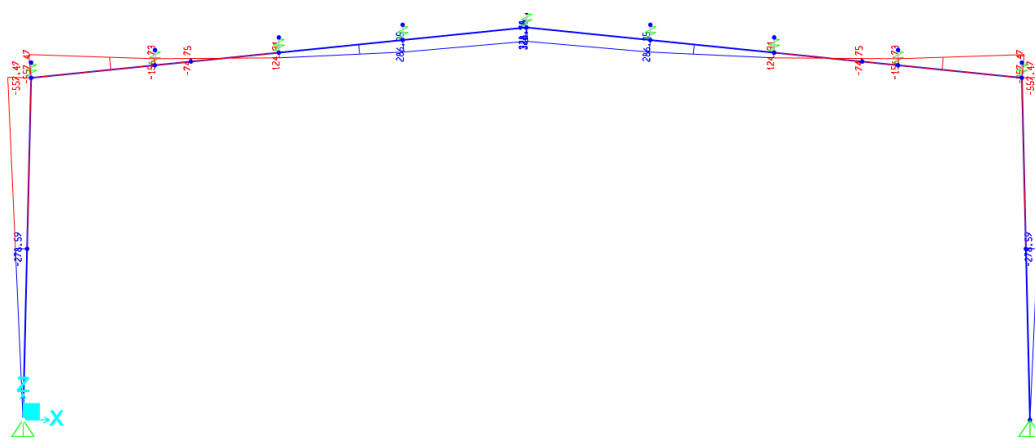


Рис. 4 – Эпюра M

Наиболее оптимальное размещение фланцевого соединения в ригеле рамы расположено на расстоянии 4 м от карнизного узла в точке нулевого изгибающего момента. Аналог стали Вст3псб-1, применяемой в серии – сталь С245. На момент разработки типовых конструкций шифр 828МК использование данной стали было обусловлено ее дешевизной в сравнении с низколегированной сталью. В настоящий момент стали, применяемые для балок по ГОСТ Р 57837-2017 указываются с маркировкой Б, и рыночная стоимость низколегированной стали С355Б больше на 3-5% для аналогичных балок из стали С255Б, при существенной разнице в прочности. Расчет элементов выполнен по формулам [5,8] в несколько этапов:

1) вычисление начальных коэффициентов, учитывающих влияние касательных напряжений от действия поперечных сил на устойчивость стенки балки, с учетом расстановки ребер жесткости:

$$k_{\tau 0} = 1.316 \cdot Q \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{\lambda_0}{M^2 \cdot R_y}}$$

$$k_{a0} = \frac{1}{a} \cdot 3 \sqrt{\frac{M \cdot \lambda_0}{R_y}}$$

, а также вычисление параметра, учитывающего вклад напряжений от продольной силы в работу конструкции:

$$\psi = \frac{3}{8} \cdot N \cdot 3 \sqrt{\frac{\lambda_0}{M^2 \cdot R_y}}$$

, где  $M$ ,  $N$ ,  $Q$  - расчетные усилия в элементе,  $\lambda_0$  - начальная гибкость элемента,  $R_y$  - расчетное сопротивление стали,  $a$  - расстояние между ребрами жесткости.

2) Вычисление требуемого момента сопротивления (по формуле 41 СП16.13330.2017):

$$W_M = \frac{M}{R_y \cdot \gamma_c \cdot c_x}$$

3) Определение начальной предельной гибкости стенки:

$$\lambda_{w0} = \frac{6 \cdot (1 - 0,5 \cdot \psi) \cdot \delta_\lambda}{\sqrt[4]{1 + 12 \cdot \left(\frac{k_{\tau 0}}{1 + 0,76 \cdot k_{a0}}\right)^2}} \cdot k_r$$

, где  $\delta_\lambda=1$  - коэффициент для двутавров с устойчивой стенкой, представленных в сортаменте проката.

4) Определение оптимальной высоты сечения двутавров с устойчивой стенкой:

$$h_{opt,mono} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \cdot W_M \cdot \lambda_{w0}}$$

5) Назначение высоты сечения  $h_w$  с учетом оптимального раскроя двутавра, конструктивных и иных требований. В целях унификации минимальная высота профиля составного сечения принимается равной 230 мм, аналогично типовым конструкциям шифр 828КМ. Данная высота также обусловлена конструктивными требованиями по расположению болтов в фланцевом соединении в точке нулевого момента. На рис. 4 представлены минимальное и максимальное сечение ригеля рамы, образованное путем диагонального роспуска двутавров.

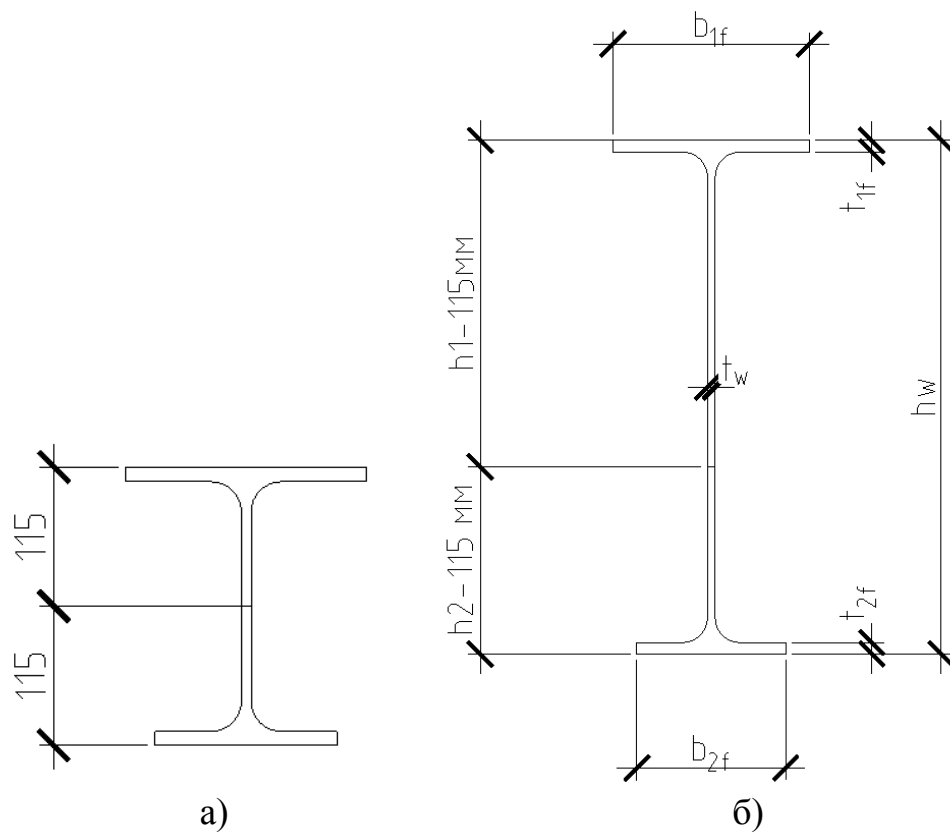


Рис. 4 а) минимальное сечение ригеля рамы; б) максимальное сечение ригеля рамы

6) Назначение толщины стенки  $t_w$ , в зависимости от назначенной гибкости стенки.

7) Определение площади полок:

$$\text{Площадь сжатой полки: } A_{1ef} = \frac{W_M}{(1-\psi) \cdot h_w} - \frac{t_w \cdot h_w}{6} \cdot \frac{1-3\psi}{1-\psi} \cdot \delta_w$$

$$\text{Площадь растянутой полки: } A_{2ef} = \frac{W_M}{(1+\psi) \cdot h_w} - \frac{t_w \cdot h_w}{6} \cdot \frac{1+3\psi}{1+\psi} \cdot \delta_w$$

, где  $\delta_w=1$  - коэффициент для двутавров с устойчивой стенкой, представленных в сортаменте проката.

8) Определение расчетных толщины и ширины полок:

$$t_{ief} = \delta_f \cdot \sqrt{\frac{A_{ief}}{k_{r_w}}}$$

$$b_{ief} = \frac{A_{ief}}{t_{ief_w}}$$

По результатам расчета сечения ригеля в зоне карнизного узла составлены сводные таблицы. В табл. 2 отражены исходные данные для подбора оптимального сечения из двух прокатных двутавров. В табл. 3 отражены результаты расчета начальных параметров, учитывающих вклад продольного и поперечного усилия в устойчивость стенки.

Таблица 2

Исходные данные

$M$ , кНм	$N$ , кН	$Q$ , кН/м	$E$ , МПа	$R_y$ , МПа	$k_r$	$\lambda_0$	$a$ , мм
532	80	148	20000	355	23.73	65.13	2000

Таблица 3

Начальные параметры

$k_{\tau 0}$	$k_{a0}$	$\psi$	$\lambda_{w0}$
0,1686	0,2302	0,026	133,02

Таблица 4

Определение геометрических характеристик сечения t fact

---

---

$W_M, \text{см}^3$	$h_{\text{opt.моно}}^{\text{треб}} \text{ мм}$	$h_w^{\text{факт}} \text{ мм}$	$t_w^{\text{треб}} \text{ мм}$	$t_w^{\text{факт}} \text{ мм}$	$A_{1\text{ef}}, \text{см}^2$	$A_{2\text{ef}}, \text{см}^2$
1338	643.9	521	4	8	19.8	17.7

Дискретность сортамента накладывает ограничение на использование двутавров с требуемой толщиной стенки, но недостаточной высотой сечения. Так, в исследуемом случае расчета сечения в карнизном узле, толщину стенки 5 мм имеют двутавры 25Б1 и 20Ш0, однако высоты их совместного сечения будет недостаточно для конструирования составного сечения высотой 640 мм. Ближайшие два двутавра с одинаковой толщиной стенки, подходящие по общей высоте с учетом исключения полок и закруглений с одной стороны сечения - это двутавры 40Б2 и 45Б1 (табл. 1).

Вследствие дискретности сортамента возникает необходимость принимать значения высоты сечения ниже оптимальных, что вызывает увеличение площади полок двутавра переменного сечения (рис. 5).

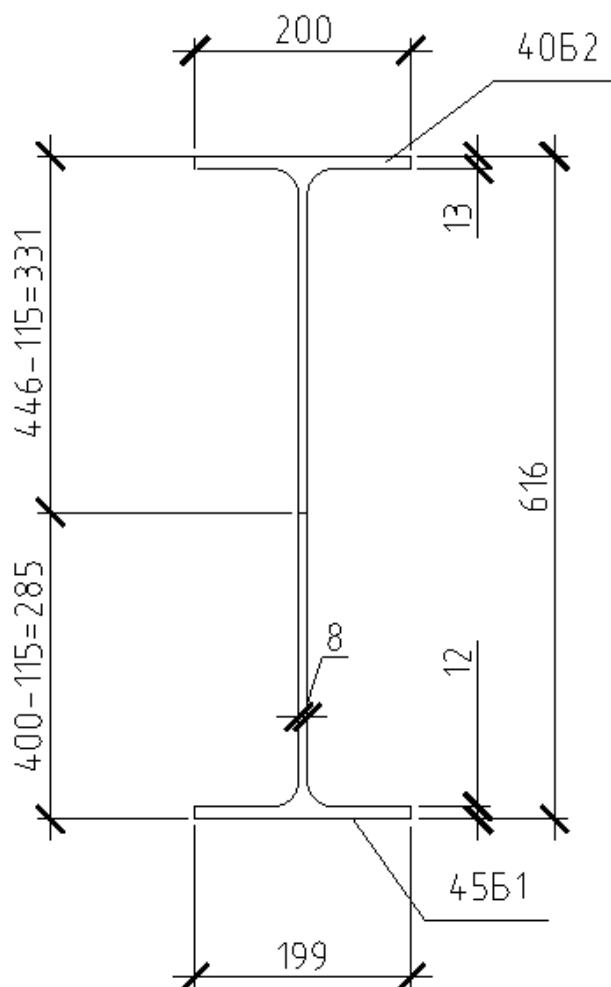


Рис. 5. Подбранное сечение составного двутавра.

Таблица 5

Определение геометрических параметров полки

$t_{1f}^{треб}$ мм	$t_{1f}^{факт}$ мм	$b_{1f}^{треб}$ мм	$b_{1f}^{факт}$ мм	$t_{2f}^{треб}$ мм	$t_{2f}^{факт}$ мм	$b_{2f}^{треб}$ мм	$b_{2f}^{факт}$ мм
8	13	112	200	7	12	104	199

В подобранном сечении высота сечения принята меньше оптимальной, толщина стенки увеличена из-за дискретности сортамента (табл. 5). Учтено выключение части или всей стенки из работы и передача внешнего изгибающего момента и продольного усилия на полки, а также дополнительные требования по местной устойчивости сжатой полки.

---

Значения всех параметров округлены в большую сторону из-за дискретности сортамента. Итоговый ригель рамы состоит из двух прокатных двутавров 45Б1 и 40Б2 общей высотой в карнизной части 616 мм, в точке нулевого момента 230 мм. Габариты сжатой полки 200x13 мм, габариты растянутой полки 199x12 мм (рис. 5).

Применение различных позиций сортамента для роспуска и последующей сварки позволило сократить массу двутавра переменного сечения по сравнению с серийной, использующей при аналогичных нагрузках двутавр 45Б2 с диагональным роспуском стенки. Разница в металлоёмкости составила 20,9 %, с поправкой на разницу в стоимости стали – 17,9 %. Результат исследования позволяет сделать вывод о перспективности применения рам переменного сечения образованных путем диагонального роспуска двутавров различного сечения с последующей сваркой в строительстве промышленных каркасных зданий.

### Литература

1. Наружный В.Е., Титов В.А., Оболенская Ю.А. Импортзамещение в России: исторический опыт и текущие перспективы // Управленческое консультирование. 2019. № 11. С. 101–112.
2. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости. Под общ. ред. Абовского Н.П., М., Стройиздат, 1978. 189с.
3. Скачков С.В. Решение задачи оптимизации конструктивных параметров безраскосных ферм с поясами из тавров. Легкие строительные конструкции: Сборник научных трудов - Ростов н/Д: Рост.гос. строит. ун-т, 1999. С. 98-105.



4. Запросян А.О. Оптимизация сечений сварных составных балок. Легкие строительные конструкции: Сборник научных трудов - Ростов н/Д: РГАС, 1993. С. 64-69.
5. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения: Монография, М.: Издательство АСВ, 2018 . -1072 с.
6. Беляев Б.И. Оптимизация сечений балок с поясами из прокатных тавров и стенкой из листовой стали. Изготовление и монтаж металлических строительных конструкций. Экспресс-информация. -М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1990. - Вып. 4. - 226 с.
7. Каплун Я.Л. Оптимизация сортамента прокатных профилей: Автореф. дис. канд. техн. наук. - М: Наука, 1971. -32с.
8. ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. Пособие по проектированию стальных конструкций. М.: ЦИТП, Стройиздат 1989. - 40с.
9. Кузнецов В.В. Справочник проектировщика Т.3. - М.: АСВ, 1999. - 528 с.
10. Соболев Ю.В. О проектировании стальных составных балок рационального сечения. Строительство и архитектура. - 1985. - № 1. -с. 18-21.

### References

1. Naruzhnyy V.E., Titov V.A., Obolenskaya Yu.A. Importozameshcheniye v Rossii: istoricheskiy opyt i tekushchiye perspektivy [Import Substitution in Russia: Historical Experience and Current Prospects]. Upravlencheskoye konsul'tirovaniye. 2019. № 11. pp. 101–112.
2. Izbrannyye zadachi po stroitel'noj mehanike i teorii uprugosti. [Selected problems in structural mechanics and the theory of elasticity]. Pod obshh. red. Abovskogo N.P., M., Strojizdat, 1978. 189p.
3. Skachkov S.V. Reshenie zadachi optimizacii konstruktivnykh parametrov bezraskosnykh ferm s pojasami iz tavrov [Solving the problem of

optimizing the design parameters of braced girders with tee belts]. Legkie stroitel'nye konstrukcii: Sbornik nauchnyh trudov. Rostov na Donu: Rost.gos. stroit. un-t, 1999. pp. 98-105.

4. Zaprosjan A.O. Optimizacija sechenij svarnyh sostavnyh balok [Optimization of sections of welded composite beams]. Legkie stroitel'nye konstrukcii: Sbornik nauchnyh trudov. Rostov na Donu: RGAS, 1993. pp. 64-69.

5. Katjushin V.V. Zdanija s karkasami iz stal'nyh ram peremennogo sechenija [Buildings with frames made of steel frames of variable section]: Monografija, M.: Izdatel'stvo ASV, 2018 . 1072 p.

6. Beljaev B.I. Optimizacija sechenij balok s pojasami iz prokatnyh tavrov i stenkoj iz listovoj stali [Optimization of sections of beams with chords made of rolled tees and a web made of sheet steel]. Izgotovlenie i montazh metallicheskih stroitel'nyh konstrukcij. Jekspres-informacija. M.: CBNTI Minmontazhspecstroja SSSR, 1990. Vyp. 4. 226 p.

7. KaplunJa.L. Optimizacija sortamenta prokatnyh profilej [Optimization of the assortment of rolled profiles]: Avtoref. dis. kand. tehn. nauk. M: Nauka, 1971. 32p.

8. CNIISK im. Kucherenko Gosstroja USSR. Posobie po proektirovaniju stal'nyh konstrukcij [Manual for the design of steel structures]. M.: CИTP, Strojizdat 1989. 40p.

9. Kuznecov V.V. Spravochnik proektirovshhika [Manual for the design of steel structures]. T.3. M.: ASV, 1999. 528 p.

10. Sobolev Ju.V. Stroitel'stvo i arhitektura. 1985. № 1. pp. 18-21.