

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

**К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин**

## **ПОДКРАНОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

Под общей редакцией доктора технических наук,  
профессора Ю.П. Скачкова

Рекомендовано УМО РАЕ по классическому университетскому  
и техническому образованию в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений  
обучающихся по направлению подготовки  
08.03.01, 08.04.01 (270800) «Строительство»

Пенза 2014

УДК 624.014 (075.8)

ББК 38.54я73

Н43

*Учебное пособие подготовлено в рамках проекта  
«ПГУАС – региональный центр повышения качества подготовки  
высококвалифицированных кадров для строительной отрасли»  
(конкурс Министерства образования и науки Российской Федерации –  
«Кадры для регионов»)*

Рецензенты: доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Технология машино-  
строения» (ПГУ) В.З. Зверовщиков;  
доктор технических наук, профессор,  
С.В. Бакушев

**Нежданов К.К.**

Н43 Подкрановые конструкции: учеб. пособие / К.К. Нежданов,  
А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин; под общ. ред. д-ра техн. наук,  
проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 140 с.

**ISBN 978-5-9282-1090-8**

Показаны преимущества новой формы подкрановой конструкции – трубчатой, обладающей амортизирующими свойствами и обеспечивающей повышение момента инерции при кручении в 200 и более раз.

Направлено на формирование способности к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, на развитие способности проводить научные эксперименты и оценивать результаты исследований.

Подготовлено на кафедре «Строительные конструкции» и базовой кафедре ПГУАС при ООО «Пензастрой», адресовано студентам высших учебных заведений, обучающимся по направлению подготовки 08.03.01, 08.04.01 (270800) «Строительство» (бакалавриат, магистратура).

**ISBN 978-5-9282-1090-8**

© Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства, 2014

© Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А.,  
Гарькин И.Н., 2014

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Мостовые краны появились во второй половине XIX в. с появлением электродвигателей постоянного тока ( $\approx 1870$  г.). С появлением трехфазных электродвигателей (1890 г.) увеличилась грузоподъемность мостовых кранов и они стали широко применяться.

От конструктивной формы балки в значительной степени зависят ее долговечность, надежность, простота изготовления и удобство обслуживания.

Созданием новых конструктивных форм подкрановых конструкций и рельсов занимались А.С. Довженко, Е.И. Беленя, И.И. Ведяков, Н.С. Стрелецкий, В.А. Горпинченко, К.К. Нежданов, А.И. Кикин, А.Ф. Сабуров, И.В. Попченков и другие исследователи. Проблемой обеспечения совместной работы подкрановой балки и рельса занимался К.К. Нежданов. Им получен ряд конструкций, называемых рельсобалочными. За счет включения рельса в работу сечения подкрановой балки резко возрастает изгибная и крутильная жесткость конструкции в целом.

Придание конструкции замкнутого контура дает максимальное увеличение крутильной жесткости. Применение трубчатых профилей обеспечивает повышение моментов инерции при кручении в 200 и более раз. Устойчивость цилиндрической поверхности также во много раз выше, чем пластины.

Продолжены исследования по разработке рельсобалочных конструкций высокой выносливости, в которых рельс работает в составе сечения конструкции. Учебное пособие состоит из четырех частей.

В первой части даются новые профили для подкрановых конструкций. Здесь представлены расчеты по подбору оптимальных сечений конструкций.

Во второй части представлены крановые рельсы и методы их расчета.

Третья часть пособия содержит рельсовые конструкции и их узлы. Представлены различные эффективные рельсобалочные конструкции, а также виды их узлов (соединений).

Четвертая часть описывает способы рихтовки подкрановых балок.

Рассмотрены методы рихтовки подкрановых балок разработанные и запатентованные в ПГУАС.

Пособие составлено на основе материалов статей, опубликованных в течение нескольких последних лет, а также патентов РФ, выполненных авторами.

## ВВЕДЕНИЕ

Ужесточение требований по безопасности производственных процессов, а также надёжности и экономичности конструкций каркаса неразрывно связано с техническим перевооружением действующих промышленных предприятий.

Наиболее остро эта проблема стоит в таких отраслях, как чёрная и цветная металлургия, и предприятия тяжёлого машиностроения, где сконцентрировано более трети всего фонда эксплуатируемых строительных металлоконструкций (32,7 %) [1].

Проблема усложняется ещё и тем, что рост экономики ведёт к увеличению выпуска продукции, и как правило, вызывает ужесточение режима работы кранов и повышению их грузоподъёмности. Результатом этого является снижение долговечности подкрановых конструкций. Долговечность подкрановых конструкций во много раз ниже, чем других элементов каркаса здания, и не превышает 5...10 лет. В цехах с тяжёлым режимом работы кранов (8К, 7К) усталостные трещины могут возникнуть через 1...3 года интенсивной эксплуатации (0,7...0,75 млн циклов). На Череповецком металлургическом комбинате балки ремонтируют практически каждый год [2].

Ремонт и замена рельсовых путей и балок требуют полной или частичной остановки производственного процесса. За каждый день простоя предприятие терпит убытки, во много раз превышающие затраты на ремонт и замену подкрановых конструкций.

Усталостные трещины в подкрановых балках возникают в подрельсовой зоне стенок балок.

Усталостные трещины колес мостовых кранов возникают вследствие накопления значительного числа дислокаций при каждом цикле загрузки и концентрации их около стыков зёрен с последующим скоплением в большие группы, что способствует разрыхлению металла в этом месте и, наконец, образованию трещины усталости. При каждом цикле длина трещины в повреждённом месте увеличивается.

Усталостные трещины в сварных швах вызывают подвижные, циклические воздействия от колес крана. Выносливость зависит от числа циклов и величины локальных сосредоточенных воздействий  $P$ ,  $T$  и  $M_{кр}$  мостовых кранов.

В Пензенском ИСИ с 1971 г. работает лаборатория Выносливости подкрановых конструкций. В ней идут усталостные испытания под руководством основателя лаборатории – д.т.н., проф. Нежданова К.К.

В первое время в лаборатории проводились испытания сварных балок, были получены линии регрессии, связывающие величину максимальных сдвигающих напряжения и число циклов прокатывания колёс до появления усталостных трещин.

Результаты вошли в СНиП II-23-81\* «Стальные конструкции». Затем были испытаны балки из тавров, балки на фрикционных шпильках, балки с податливыми стенками и т.д.

# 1. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ПРОФИЛИ ДЛЯ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК

В связи тем, что материалоемкость подкрановых конструкций по отношению ко всему каркасу промышленного здания составляет порядка 30 %, то крайне важной задачей является разработка более эффективных конструкций (профилей подкрановых, тормозных балок) для уменьшения материалоемкости без снижения их надёжности. В настоящем разделе представлены разработанные (и частью запатентованные) усовершенствованные профили, которые могут быть применены как при проектировании новых, так и при реконструкции старых зданий и сооружений, использующих грузоподъемное оборудование.

## 1.1. Двутавровый профиль сечения из низколегированной стали

В настоящее время основная масса подкрановых балок, которые используются во вновь возводимых зданиях, – это балки двутаврового сечения. В связи с этим остро стоит вопрос о разработке двутаврового профиля с усовершенствованными характеристиками. Такой профиль был разработан в ПГУАС (получен патент РФ [4]), а по результатам исследований были опубликованы статьи [5, 6].

Профиль предлагается использовать в промышленных и гражданских зданиях с балочными перекрытиями и каркасами, а также в качестве подкрановых балок.

Известен двутавровый прокатный профиль ГОСТ 26020–83 [7]. В стандартном профиле пропорции сечения не зависят от того из какой стали прокатывается двутавровый профиль: малоуглеродистой или низколегированной.

Недостаток данного профиля в том, что гибкость стенки профиля

( $\lambda_{ст} = \frac{h_{ст}}{t_{ст}}$ , где  $h_{ст}$  – высота стенки;  $t_{ст}$  – толщина стенки) переменная и

колеблется для разных номеров двутавров. Кроме того, материалоемкость стенки отличается от оптимальной материалоемкости на 50 %, например:

Двутавр I	Гибкость стенки $\lambda_{ст}$	Материалоемкос ть стенки $K$	$W_x, \text{см}^3$	$J_x, \text{см}^4$
I 100 Б1	59,25	0,52	9011	446000
I 100 Б2	55,76	0,49	10350	516400
I 100 Б3	52,67	0,519	11680	597700
I 100 Б4	48,6	0,562	12940	655400

$$\text{I100Б4} - h = 101,3 \text{ см}, t_{\text{п}} = 3,25 \text{ см}, t_{\text{ст}} = 1,95 \text{ см}, h_{\text{ст}} = 94,8 \text{ см},$$

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{94,8}{1,95} = 48,6.$$

Также известен профиль двутавровых прокатный балок из малоуглеродистой стали, предложенный К.К. Неждановым и разработанный с аспирантами [8].

Сталь новых прокатных профилей – малоуглеродистая С255 В Ст3 Сп5, ГОСТ 27772–88. Однако двутавровые прокатные профили из низколегированной стали должны иметь другие параметры.

В настоящее время двутавровые прокатные профили из малоуглеродистой и низколегированной стали имеют одинаковое очертание поперечного сечения, что ошибочно, так как гибкость стенки для профилей из низколегированных сталей имеет значение меньше, чем предельная гибкость стенки, а именно  $\lambda_{\text{ст. пред}} = 65$ .

По действующим нормам [9] устойчивость стенок балок не требуется проверять, если условная гибкость стенок  $\overline{\lambda}_{\text{ст}} = \frac{h_{\text{ст}}}{t_{\text{ст}}} \sqrt{\frac{R_y}{E}} < 2,5$ , где значение 2,5 – при наличии местных напряжений в профиле.

Разработаем сортамент двутавровых профилей из низколегированной стали.

Для низколегированных сталей, например, 12Г2Сгр1, ТУ14-1-4323–88, 09Г2С, 14Г2, 15ХСНД по ГОСТ 19282–73\* [9] с расчётным сопротивлением  $R_y = 300$  МПа при толщине  $t = 20 \dots 40$  мм, и модулем упругости

$E = 206000$  МПа приведённая гибкость  $\overline{\lambda}_{\text{ст}} = \lambda_{\text{ст}} \sqrt{\frac{300}{206000}} < 2,5$ , отсюда предельная гибкость, когда не требуется постановка промежуточных рёбер жёсткости, равна  $\lambda_{\text{ст пред}} = 2,5 \cdot 26,204 = 65,51$ .

С некоторым запасом назначим предельную гибкость стенки двутаврового прокатного профиля равной  $\lambda_{\text{ст пред}} = 65$ .

## 1.2. Оптимальное распределение материала по сечению балки

Значительное снижение материалоемкости двутаврового прокатного профиля может быть достигнуто оптимальным распределением металла по сечению балок. Поставим задачу прокатать балку наибольшей прочности, то есть с максимальным моментом сопротивления  $\max W_x$  из заготовки площадью поперечного сечения  $A$ , см<sup>2</sup>.

Очевидно, что уменьшение толщины стенки  $t_{\text{ст}}$  приводит к увеличению высоты балки  $h$  и увеличению момента сопротивления  $W_x$ . Материал

сечения должен быть оптимально распределён между стенкой и поясами балки. Введём коэффициент  $K$ , определяющий материалоемкость стенки.

Тогда  $A_{ст} = K \cdot A$ .

Введём постоянный коэффициент гибкости стенки:

$$\lambda_{ст} = \frac{h}{t_{ст}} = \frac{h \cdot t_{ст}}{t_{ст}^2} = \frac{K \cdot A}{t_{ст}^2} = \text{const.}$$

Отсюда

$$t_{ст} = \sqrt{\frac{A}{\lambda_{ст}}} \cdot K^{0,5}.$$

Тогда расстояние между центрами тяжести поясов  $h_{ц}$  будет зависеть только от коэффициента материалоемкости стенки  $K$ :

Площадь поперечного сечения двух поясов

$$2A_{п} = A - A_{ст} = A \cdot (1 - K).$$

Пренебрегая собственными моментами инерции поясов балки, запишем главным момент инерции (рис. 1):

$$J_x = 2A_{п} \left( \frac{h_{ц}}{2} \right)^2 + A_{ст} \frac{h_{ст}^2}{12}.$$

Поделив на  $0,5 \cdot h_{ц}$ , найдём момент сопротивления  $W_x$  на высоте центров тяжести поясов:

$$W_x = \frac{h}{2} \left( 2A_{п} + \frac{A_{ст}}{3} \right) = \frac{1}{2} A \sqrt{A \cdot \lambda_{ст}} \cdot K^{0,5} \left( 1 - \frac{2}{3} K \right).$$

Итак, момент сопротивления зависит только от материалоемкости  $K$  стенки. Определим экстремум  $W_x$ , взяв производную по  $K$ .

$$\frac{dW_x}{dK} = \frac{1}{2} A \sqrt{A \cdot \lambda_{ст}} \left[ \frac{1}{2} K^{0,5} \left( 1 - \frac{2}{3} K \right) - \frac{2}{3} K^{0,5} \right] = 0.$$

Отсюда  $K = 0,5$ .

Следовательно, при  $K = 0,5$  материалоемкость стенки составляет 50 % от материалоемкости всего сечения балки.

Тогда оптимальная высота сечения равна

$$h_{опт} = \frac{0,5A}{t_{ст}}.$$

Этой высоте соответствует наибольший момент сопротивления, равный

$$W_x^2 = \frac{A^3 \lambda_{\text{ст}}}{18},$$

и соответствующая гибкость стенки

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{0,5A}{t_{\text{ст}}}.$$

Подставив (1.11) в (1.10), получим  $W_x$  в зависимости от  $A$  и  $t_{\text{ст}}$

$$W_x = \frac{A^2}{6 \cdot t_{\text{ст}}},$$

и соответствующую минимальную площадь сечения балки

$$A = \sqrt{6 \cdot W_x \cdot t_{\text{ст}}},$$

или в зависимости от гибкости стенки

$$A = \sqrt[3]{\frac{18 W_x^2}{\lambda_{\text{ст}}}}$$

получим

$$t_{\text{ст}} = \sqrt[3]{\frac{1,5 W_x}{\lambda_{\text{ст}}^2}}.$$

Легко убедиться, что радиус ядра сечения  $r$  в этом случае будет равен  $r = h/3$ .

Проанализируем материалоемкость и гибкость стенки аналога. Например, для двутавров с высотой сечения 100 см по ГОСТ 26020–83.

Т а б л и ц а 1

Размеры в см, в см<sup>2</sup>

	$h$	$b$	$t_{\text{ст}}$	$t_{\text{п}}$	$h_{\text{ст}}$	$A$	$A_{\text{ст}}$	$\lambda_{\text{ст}}$	$K$
I 100Б1	99	32	1,6	2,1	94,8	293,82	151,68	59,25	0,52
I 100Б2	99,8	32	1,7	2,5	94,8	328,9	161,16	55,76	0,49
I 100Б3	100,6	32	1,8	2,9	94,8	364	170,64	52,67	0,519
I 100Б4	101,3	32	1,95	3,25	94,8	400,6	184,86	48,62	0,562

Анализ показывает, что материалоемкость стенки отличается от оптимальной  $K = 0,5$ , а гибкость стенки для низколегированной стали меньше предельной величины  $\lambda_{ст\ пред} = 65$ .

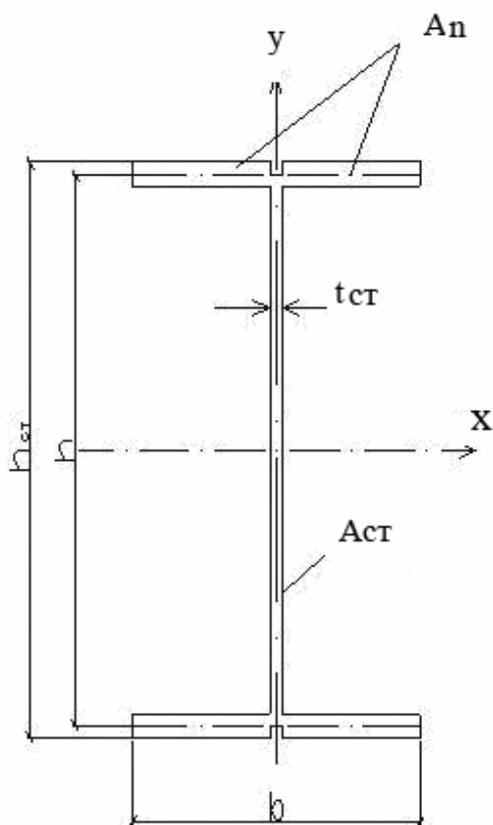


Рис. 1. Поперечное сечение двутаврового прокатного профиля

Таким образом, материалоемкость профиля снижена.

Технологическая задача – максимальное снижение материалоемкости двутаврового прокатного профиля, при его прокате путём оптимального распределения материала между поясами и стенкой профиля, обеспечивающего достижение моментом сопротивления сечения профиля относительно главной оси  $X$  своего максимального значения.

Технологическая задача по реализации способа распределения стали по сечению двутаврового профиля, содержащего полки с параллельными гранями и соединяющую их стенку, решена следующим образом.

При прокате на прокатном стане двутаврового профиля гибкость стенки балки назначают предельной для данной низколегированной марки стали, обеспечивающей устойчивость стенки без рёбер жёсткости. Блюм разогревают до температуры  $600 \dots 650 \text{ }^\circ\text{C}$  и обжимают его в клетки вальцами на прокатном стане с четырёх сторон, деформируют сечение в двутавровый профиль, содержащий полки с параллельными гранями и стенку, монолитно соединяющую полки, с образованием двутавра при прокате из

низколегированной стали (например, 12Г2С гр1, ТУ14-1-4323–88, расчётным сопротивлением  $R_y = 300$  МПа и толщине проката 20...40 мм)

Площадь сечения профиля при прокате распределяют по сечению в следующей пропорции: 50 % – на стенку профиля и по 25 % на каждый из поясов.

Толщину стенки профиля определяют из уравнения

$$t_{ст} = \sqrt{\frac{0,5A}{\lambda_{ст}}},$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения профиля;

$\lambda_{ст}$  – предельная гибкость стенки профиля, обеспечивающая устойчивость её без постановки рёбер жёсткости.

Высоту стенки находят из формулы  $h_{ст} = \lambda_{ст} \cdot t_{ст}$ , где ширину полки и толщину её назначают такой, чтобы отношение ширины полки к её толщине не превышало предельное отношение, обеспечивающее местную устойчивость плоского пояса.

Главный момент инерции профиля определяют по формуле

$$J_x = \frac{b \cdot h^3 - (b - t_{ст}) \cdot h_{ст}^3}{12},$$

где  $b$  – ширина полки профиля;

$h$  – высота поперечного сечения профиля.

Момент сопротивления вычисляют по формуле

$$W_x = \frac{2J_x}{h}.$$

На рис. 1 показано поперечное сечение двутаврового прокатного профиля. Полки имеют ширину  $b$ . Толщина полки  $t_{п}$ . Высота сечения профиля равна  $h$ . Стенка имеет высоту  $h_{ст}$ . Толщина стенки равна  $t_{ст}$ .

Площадь сечения каждой из полок равна  $A_{п} = b \cdot t_{п}$

Площадь сечения стенки равна  $A_{ст} = h_{ст} \cdot t_{ст}$ ;

Площадь всего сечения равна  $A = 2A_{п} + A_{ст}$ .

### Пример конкретной реализации

Повысим прочность двутавра **I100Б4** по ГОСТ 26020–83 [7]. Основные размеры профиля и его характеристики приведены в табл. 1.

Вычисления производим в следующей последовательности:

1. Находим необходимую толщину стенки нового двутаврового профиля при заданной его площади сечения  $A = 400,6$  см<sup>2</sup> и предельной гибкости стенки

$$\lambda_{ст. пред} = 65 \Rightarrow t_{ст} = \sqrt{\frac{0,5A}{\lambda_{ст пред}}}.$$

2. Находим площадь сечения стенки  $A_{ст} = 0,5A$ .

3. Затем высоту стенки  $h_{ст} = \frac{A_{ст}}{t_{ст}}$ , округляем её.

4. Фактическую площадь сечения стенки  $A_{стф} = h_{ст} \cdot t_{ст}$ .

5. Находим площадь сечения полки  $A_{п} = 0,25 \cdot A$ .

6. Определяем толщину полки  $t_{п} = \frac{A_{п}}{b_{п}}$ , при заданной ширине полки  $b_{п}$ ,

и округляем её.

7. Затем фактическую площадь сечения полки  $A_{пф} = b_{п} \cdot t_{п}$ .

8. Определяем высоту сечения балки  $h = h_{ст} + 2t_{п}$ .

9. Фактическую площадь сечения  $A = 2A_{пф} + A_{ст}$ .

10. Определяем главный момент инерции  $J_x = \frac{bh^3 - (b - t_{ст})h_{ст}^3}{12}$ .

11. Момент сопротивления сечения  $W_x = \frac{2J_x}{h}$ .

Например, по сортаменту для двутавра **I100Б4** площадь сечения  $A = 400,6 \text{ см}^2$ . Назначаем гибкость стенки  $\lambda_{ст пред} = 65$ .

1. Находим необходимую толщину стенки нового двутаврового профиля при заданной его площади сечения и гибкости стенки

$$\lambda_{ст} = \frac{0,5A}{t_{ст}^2} \Rightarrow t_{ст} = \sqrt{\frac{0,5A}{\lambda_{ст пред}}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 400,6}{65}} = 1,7554.$$

Принимаем  $t_{ст} = 1,76 \text{ см}$ .

2. Находим площадь сечения стенки  $A_{ст} = 0,5A = 200,3 \text{ см}^2$ .

3. Затем высоту стенки

$$h_{ст} = \frac{A_{ст}}{t_{ст}} = \frac{200,3}{1,76} = 113,807 \Rightarrow 113,8 \text{ см}.$$

4. Фактическую площадь сечения стенки

$$A_{стф} = h_{ст} \cdot t_{ст} = 113,8 \cdot 1,76 = 200,288 \text{ см}^2.$$

5. Находим площадь сечения полки

$$A_{п} = 0,25 \cdot A = 0,25 \cdot 400,6 = 100,15 \text{ см}^2.$$

6. Оставляем ширину полки  $b_{п} = 32$ , тогда

$$t_{п} = \frac{100,15}{32} = 3,1297 \Rightarrow 3,13 \text{ см}.$$

7. Затем фактическую площадь сечения полки

$$A_{\text{пф}} = b_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} = 32 \cdot 3,13 = 100,16 \text{ см}^2.$$

8. Определяют высоту сечения балки

$$h = h_{\text{ст}} + 2 t_{\text{п}} = 113,8 + 2 \cdot 3,13 = 120,06 \text{ см}.$$

9. Фактическая площадь сечения  $\Sigma \sigma_y$ , см<sup>2</sup>.

10. Определяют главный момент инерции

$$J_x = \frac{bh^3 - (b-t_{\text{ст}})h_{\text{ст}}^3}{12} = \frac{32 \cdot 120,06^3 - (32-1,76) \cdot 113,8^3}{12} = 901040 \text{ см}^4 \text{ (137,5 \%)}.$$

11. Было  $J_x = 655400 \text{ см}^4$  (100 %).

12. Момент сопротивления  $W_x = \frac{2J_x}{h} = 15009,8 \text{ см}^3$  (116 %).

13. Было  $W_x = 12940 \text{ см}^3$  (100 %).

Для новых усовершенствованных профилей был разработан сортамент (приведён в прил. 1).

### 1.3. Сборные подкрановые балки из прокатных профилей

В качестве альтернативы описанному выше профилю предлагается использовать подкрановые балки из сборных прокатных профилей. Сборная подкрановая балка (рис. 2) содержит два зеркальных профильных элемента, соединённых сверху и снизу затяжками из листов и имеющих вертикально ориентированные стенки. Распределение стали по сечению сборной подкрановой балки из прокатных профилей легко может быть оптимизировано и достигнуто снижение материалоемкости.

Отличие состоит в том, что каждый из профильных элемент сборной балки выполнен прокатом или вальцовкой плоских прокатных листов. Профильные зеркальные элементы подкрановой балки легко могут быть получены на листогибочном станке [10].

Двойная стенка сборной балки ориентирована вертикально и выполнена из двух плоских листов. Каждый из плоских листов стенки сверху и снизу плавно по кривой поверхности переходит в горизонтальные отгибы. Пара вертикальных участков стенки соединена друг с другом в единое целое высоко – ресурсными соединениями [11].

Зеркальные профильные элементы образуют форму лотков. Горизонтальные отгибы соединены друг с другом сверху и снизу в единое целое затяжками из листов. Затяжки присоединены к отгибам высоко ресурсными соеди-

нениями – легированными шпильками из стали «40 X Селект» или заклёпками с внедрёнными в каждую сердечником.

Площадь сечения двух соединённых стенок составляет 38 %, двух лотков – 15 %, а четырёх горизонтальных отгибов и двух затяжек – 47 % от всей площади сечения балки.

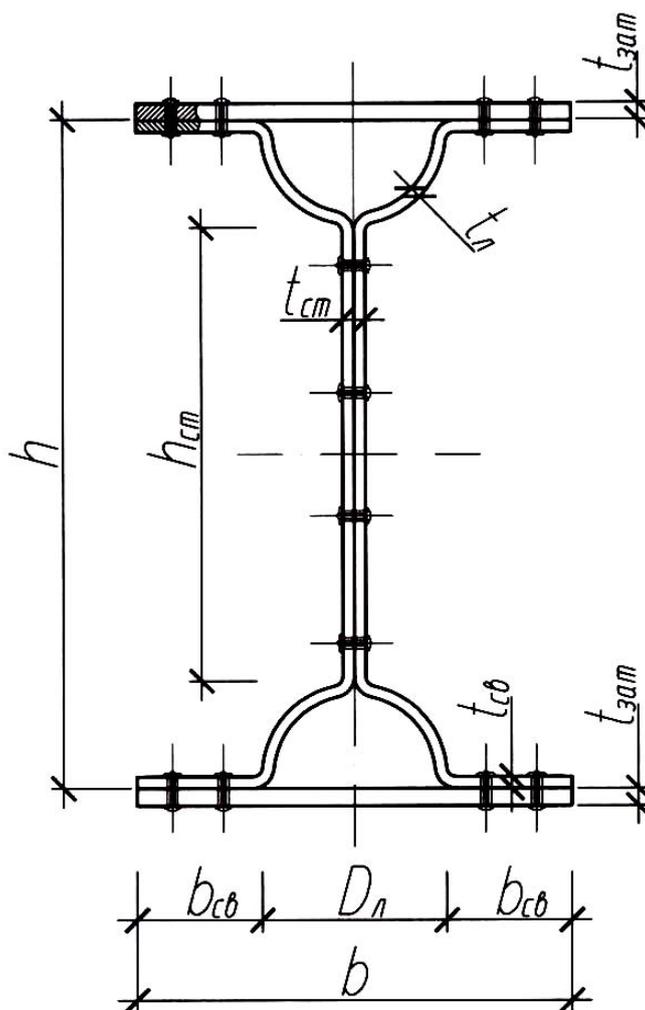


Рис. 2. Составная балка из гнутых элементов:

$h$  – высота сечения;  $A$  – площадь сечения;  $q$  – линейная плотность;  
 $b$  – ширина балки;  $b_{cb}$  – ширина свеса;  $t_{cb}$  – толщина свеса;  $t_{cm}$  – толщина стенки;  
 $t_{л}$  – толщина лотка;  $t_{зат}$  – толщина затяжки;  $D_n$  – внешний диаметр лотка;  
 $h_{cm}$  – высота стенки

На рис. 2 показано сечение сборного двутаврового профиля, предназначенного для подкрановой балки.

Сборный двутавровый профиль содержит два зеркальных относительно осей  $X$  и  $Y$  корытообразных элемента 1 и две затяжки 2 сверху и снизу. Затяжки 2 присоединены к корытообразным элементам 1 высокоресурсными соединениями – легированными шпильками с гарантированным натягом или полыми заклёпками 3 с внедрённым в каждую сердечником.

Каждый из зеркальных корытообразных элементов состоит из стенки  $a$ , переходящей в элемент трубчатого профиля, составляющий четверть  $b$  трубы. Четверть  $b$  плавно переходит в отгиб.

Отгибы зеркальных элементов 1 и две затяжки 2 сверху и снизу соединены друг с другом без возможности сдвигов и образуют в сборке двутавровую подкрановую балку. Четверти  $b$  образуют лотки сверху и снизу балки.

Распределим материал по сечению сборной балки в определенной пропорции между стенкой  $A_{ст}$ , лотками  $2A_{л}$  и свисающими частями корытообразных 1 элементов  $2A_{св}$  и двух затяжек. Введём коэффициент материалоемкости стенки балки  $K$ . Тогда:

$KA$  – материалоемкость стенки балки.

Площадь сечения двух лотков равна  $2A_{л} = \pi D t_{л}$ ,

где  $D = 0,2h$  – диаметр лотка;  $D = 0,25h_{ст}$ ;

$h = 1,25h_{ст}$  – высота балки;

$t_{л} = 0,5t_{ст}$  – толщина лотка равна толщине стенки;

$$2A_{л} = \pi \cdot D \frac{1}{2} t_{ст} = \frac{\pi}{8} A_{ст} = \frac{\pi}{8} KA.$$

Площадь сечения свесов, включая две затяжки, равна

$$2A_{св} = A - A_{ст} - 2A_{л} = A \left[ 1 - K \left( 1 + \frac{\pi}{8} \right) \right].$$

Собственные моменты инерции двух лотков запишем на основании данных справочника по сопротивлению материалов:

$$J_{2л} = \frac{1,25KAh^2}{1280} \left( \pi - \frac{8}{\pi} \right).$$

Расстояние от главной оси  $X$  до центра тяжести каждого из лотков равно

$$a_{л} = h \left( \frac{1}{2} - \frac{0,2}{\pi} \right).$$

Гибкость стенки

$$\lambda = \frac{h_{ст}}{t_{ст}} \Rightarrow t_{ст} = \frac{h_{ст}}{\lambda}.$$

Высота стенки равна

$$h_{ст} = \frac{A_{ст}}{t_{ст}} = \frac{KA\lambda}{h_{ст}} \Rightarrow h_{ст} = \sqrt{KA\lambda}.$$

Высота всей балки

$$h = 1,25h_{\text{ст}} = 1,25\sqrt{KA\lambda}.$$

Тогда собственные моменты инерции двух лотков:

$$J_{2\text{л}} = \frac{1,25^3 K^2 A^2 \lambda}{1280} \left( \pi - \frac{8}{\pi} \right).$$

Запишем главный момент инерции балки, пренебрегая в запас прочности собственными моментами инерции свесов и затяжек:

$$J_x = \frac{A_{\text{ст}} h_{\text{ст}}^2}{12} + 2A_{\text{св}} \left( \frac{h}{2} \right)^2 + 2A_{\text{л}} a_{\text{л}}^2 + \frac{1,25^3 K^2 A^2 \lambda}{1000} \left( \pi - \frac{8}{\pi} \right).$$

Заменим  $A_{\text{ст}}$ ,  $A_{\text{св}}$ ,  $A_{\text{л}}$ ,  $h_{\text{ст}}$ .

Получим момент инерции балки относительно оси X:

$$J_x = \frac{KA(0,8h)^2}{12} + A \left[ 1 - K \left( 1 + \frac{\pi}{8} \right) \right] \left( \frac{h}{2} \right)^2 + \frac{\pi}{8} KA h^2 \left( \frac{1}{2} - \frac{0,2}{\pi} \right)^2 + \frac{1,25^3 K^2 A^2 \lambda}{1280} \left( \pi - \frac{8}{\pi} \right)$$

или

$$J_x = KA h^2 \left[ 5,3 \cdot 10^{-2} - 0,275 + 0,001592 + 0,001525 = 0,00479 - 0,00389 + \frac{1}{4K} \right];$$

$$J_x = 1,25^2 K^2 A^2 \lambda \left[ -0,21917 + \frac{1}{4K} \right].$$

Поделив на  $\frac{h}{2} = 0,625\sqrt{KA\lambda}$  получим момент сопротивления профиля

$$W_x = 2,5A\sqrt{A\lambda} \left[ -0,21917K^{1,5} + 0,25K^{0,5} \right].$$

Взяв производную по  $K$ , найдём экстремум  $W_x$

$$\frac{dW_x}{dK} = 2,5A\sqrt{A\lambda} \left[ -0,32876K^{0,5} + \frac{0,125}{K^{0,5}} \right] = 0.$$

Отсюда коэффициент материалоемкости стенки равен  $K = 0,38022$ , то есть для максимального снижения материалоемкости на стенку необходимо истратить 38,02 % стали от всей площади сечения.

Подставив  $K$  в полученные формулы, имеем:

площади сечения:

$$\text{стенки: } A_{\text{ст}} = 0,38022A;$$

$$\text{двух лотков: } 2A_{\text{л}} = 0,14931A;$$

свесов и затяжек:  $2A_{\text{св}} = 0,47047 A$  (в том числе площадь сечения двух затяжек).

Главный момент инерции

$$J_x = 0,09902 A^2 \lambda.$$

Момент сопротивления

$$W_x = 0,25693 A \sqrt{A \lambda}.$$

Минимальная площадь сечения в зависимости от момента сопротивления

$$A = \sqrt[3]{\frac{15,14853 W_x^2}{\lambda}}.$$

Толщина стенки балки

$$t_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{0,38022 A}{\lambda}}.$$

Высота стенки

$$h_{\text{ст}} = 0,8 h.$$

Момент сопротивления двух лотков

$$J_{2\text{л}} = \frac{0,168}{1280} A^2 \lambda.$$

### Пример конкретной реализации

Сравним разработанный сборный профиль с аналогом, например, двутавром I 100Б4.

$$A = 397 \text{ см}^2; J_x = 662170 \text{ см}^4; W_x = 13060 \text{ см}^3;$$

$$i_x = 40,8 \text{ см}; i_y = 6,85 \text{ см}; h = 101,4 \text{ см};$$

$$h_{\text{ст}} = 101,4 - 23,3 = 94,8 \text{ см}; \lambda_{\text{ст}} = 94,8/1,86 = 51; t_{\text{ст}} = 1,86 \text{ см}.$$

В соответствии с действующими нормами назначаем гибкость стенки, при которой не требуется проверка её устойчивости.

$$\overline{\lambda}_{\text{ст}} = \frac{h_{\text{ef}}}{t_{\text{ст}}} \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 2,5.$$

$$R_y = 230 \text{ МПа}; E = 206000 \text{ МПа}.$$

Тогда

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{h_{\text{ef}}}{t_{\text{ст}}} = 2,5 \sqrt{\frac{E}{R_y}} = 74,8.$$

Принимаем гибкость стенки 74,8.

Площадь сечения оставляем без изменения  $A = 397 \text{ см}^2$ . Эту площадь распределяем по сечению следующим образом.

Площади сечения:

стенки

$$0,3802 \cdot 397 = 150,95 \text{ см}^2;$$

двух лотков

$$0,1493 \cdot 397 = 59,27 \text{ см}^2;$$

свесов и затяжек

$$0,4705 \cdot 397 = 186,78 \text{ см}^2.$$

Всего  $397,0 \text{ см}^2$

Момент сопротивления нового двутавра будет равен

$$W_x = 0,25693 A \sqrt{A \lambda};$$

$$W_x = 0,25693 \cdot 397 \sqrt{397 \cdot 74,8} = 17577,3 \text{ см}^3.$$

Толщина стенки

$$t_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{0,38022 A}{\lambda_{\text{ст}}}} = \sqrt{\frac{0,38022 \cdot 397}{74,8}} = 1,42 \text{ см}.$$

Высота балки

$$h = 0,77077 \sqrt{A \lambda} = 0,77077 \sqrt{397 \cdot 74,8} = 132,82 \text{ см}.$$

Высота стенки

$$h_{\text{ст}} = 0,8h = 106,26 \text{ см}.$$

Момент инерции

$$J_x = 0,09902 A^2 \lambda = 0,09902 \cdot 397^2 \cdot 74,8 = 1167362 \text{ см}^4.$$

Сопоставление с аналогом показывает, что:

момент сопротивления  $W_x$  увеличился в  $\frac{17577,3}{13060} = 1,346$  раза;

момент инерции  $J_x$  увеличился в  $\frac{1167362}{662170} = 1,763$  раза.

Если принять толщину свеса  $t_{\text{св}} = 0,71$  см, то ширина двух свесов равна

$$2b_{\text{св}} = \frac{186,78}{2 \cdot 0,71} = 131,52 \text{ см.}$$

Диаметр лотка  $D = 0,2h = 0,2 \cdot 132,82 = 26,56$  см.

Ширина балки  $b_{\text{max}} = D + 2b_{\text{св}} = 26,56 + 2 \cdot 22,65 = 71,86$  см.

Для уменьшения ширины балки площадь сечения свесов распределяем по сечению свеса и затяжки толщиной  $t_{\text{зат}} = 1,2t_{\text{св}}$ .

$$2A_{\text{св}} + 2A_{\text{зат}} = 186,78.$$

$$2(2b_{\text{св}}^{\text{зат}} t_{\text{св}} + b_{\text{зат}} t_{\text{зат}}) = 2b_{\text{св}} t_{\text{св}}.$$

$$2(2b_{\text{св}}^{\text{зат}} t_{\text{св}} + b_{\text{зат}} 1,2t_{\text{св}}) = 2b_{\text{св}} t_{\text{св}}.$$

$$2b_{\text{св}}^{\text{зат}} t_{\text{св}} + (2b_{\text{св}}^{\text{зат}} + D) \cdot 1,2t_{\text{св}} = b_{\text{св}} t_{\text{св}}.$$

$$2b_{\text{св}}^{\text{зат}} + 1,2 \cdot 2b_{\text{св}}^{\text{зат}} + 1,2D = b_{\text{св}}.$$

$$4,4b_{\text{св}}^{\text{зат}} + 1,2D = b_{\text{св}}.$$

$$b_{\text{св}}^{\text{зат}} = \frac{b_{\text{св}} - 1,2D}{4,4}.$$

$$b_{\text{св}}^{\text{зат}} = \frac{131,52 - 1,2 \cdot 26,56}{4,4} = 22,65 \text{ см.}$$

Ширина балки

$$b_{\text{max}} = D + 2b_{\text{св}}^{\text{зат}} = 26,56 + 2 \cdot 22,65 = 71,86 \text{ см.}$$

Момент инерции относительно вертикальной оси  $y$

$$J_y = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) + \frac{t_{\text{св}}}{12} (b_{\text{max}}^3 - D^3),$$

где  $d$  – внутренний диаметр лотка

$$d = D - 2t_{\text{ст}} = 26,56 - 2 \cdot 1,42 = 23,72 \text{ см};$$

$$J_y = \frac{\pi}{64} (26,56^4 - 23,74^4) + \frac{0,71}{12} (158,08^3 - 26,56^3) = 241508,7 \text{ см}^4.$$

У аналога было  $J_y = 18620 \text{ см}^4$  (100 %).

То есть момент инерции  $J_y$  увеличился в 12,97 раза.

$$W_y = \frac{2J_y}{b_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot 241508,7}{158,08} = 3055,5 \text{ см}^3 \text{ (265 \%)}.$$

У аналога было  $W_y = 1150 \text{ см}^3$  (100 %).

Момент сопротивления  $W_y$  увеличился в 2,65 раза.

Эффективность нового балочного профиля высокая.

Примем равные с аналогом моменты сопротивления, то есть  $W_x = 13060 \text{ см}^3$ .

Находим минимальную площадь сечения.

$$A = \sqrt[3]{\left(\frac{W_x}{0,38022}\right)^2 \frac{1}{\lambda}} = \sqrt[3]{\left(\frac{13060}{0,38022}\right)^2 \frac{1}{74,8}} = 250,8 \text{ см}^2.$$

Распределяем площадь по сечению.

Площади сечения:

стенки

$$0,38022 \cdot 250,8 = 95,35 \text{ см}^2;$$

двух лотков

$$0,1493 \cdot 250,8 = 37,44 \text{ см}^2;$$

свесов и затяжек

$$0,4705 \cdot 250,8 = 118,0 \text{ см}^2.$$

Всего  $250,8 \text{ см}^2$ .

Толщина стенки

$$t_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{0,38022A}{\lambda_{\text{ст}}}} = 1,129 \text{ см}.$$

Высота балки

$$h = 0,77077 \sqrt{A \lambda_{\text{ст}}} = 0,77077 \sqrt{250,8 \cdot 74,8} = 105,57 \text{ см}.$$

Высота стенки

$$h_{\text{ст}} = 0,8h = 84,45 \text{ см}.$$

Момент инерции

$$J_x = 0,09902 A^2 \lambda = 0,09902 \cdot 250,8^2 \cdot 74,8 = 465885,9 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления

$$W_x = 0,25693 A \sqrt{A \lambda_{\text{ст}}} = 0,25693 \cdot 250,8 \sqrt{250,8 \cdot 74,8} = 27909,8 \text{ см}^3.$$

Произошло снижение материалоемкости.

Материалоемкость сборной двутавровой балки по сравнению со стандартным профилем составляет  $\frac{250,8}{397} = 0,632$ , то есть материалоемкость снижена на 36,8 %.

Сравнивая данный профиль с стандартным [12, 13], отмечаем, что моменты сопротивления повышаются:  $W_x$  на 25...28 %,  $W_y$  на 25...30 %.

Моменты инерции повышаются значительно больше:  $J_x$  на 55...59 %, а  $J_y$  на 50...55 %.

Данный усовершенствованный профиль имеет следующие преимущества:

✓ Зеркальные корытообразные элементы симметричны относительно осей  $x$  и  $y$ , прокатаны на прокатном стане и имеют плавные по кривой переходы от стенки к четвертям трубы и затем к горизонтальным отгибам;

✓ эффективные коэффициенты концентрации напряжений сведены к минимуму, то есть близки к единице и поэтому выносливость зеркальных профильных элементов наивысшая [14, 15];

✓ соединения зеркальных профильных элементов друг с другом и с затяжками выполнено посредством полых заклёпок с внедрённым в каждую сердечником [16];

✓ трудоёмкость изготовления сведена к минимуму, так как сечение балки состоит из прокатных элементов, их соединяют автоматизированно на поточной линии с использованием пиротехнических установок, выполняющих пробивку соединяемых элементов с дальнейшей автоматизированной постановкой полых заклёпок;

✓ балка обладает амортизирующими свойствами благодаря расположенными сверху и снизу сечения лотками.

Для данного типа профилей разработан свой сортамент (прил. 1, табл. 2), а также предложена таблица, в которой произведено сравнение стандартного профиля и нового (прил. 1, табл. 2).

#### 1.4. Эффективный уголкового профиль

Уголкового профили появились одними из первых благодаря появлению способов получения различных профилей горячим прокатом в прокатных цехах. В клёпаных конструкциях уголки являются основными соеди-

нительными элементами [17]. Сечения из тонких уголков лучше работают на продольный изгиб и поэтому их выгоднее применять в сжатых стержнях, например, ферм. Всем известны башни А.Г. Эйфеля (1889 г.) и В.Г. Шухова (1919 г.), построенные из уголкового профиля [18].

Уголкового профиля бывают равнополочные и неравнополочные [18, 19]. Каждый уголкового профиль состоит из пары прямоугольных взаимно ортогональных элементов, соединённых друг с другом в единое целое. В месте соединения делается утолщение в виде закругления по радиусу (выкружка). Известные уголкового профиля могут быть усовершенствованы.

Техническая задача – увеличение моментов инерции уголкового профиля при изгибе и радиусов инерции без изменения материалоемкости и толщины полок профиля, увеличение технологичности проката профиля в клети прокатного стана.

Техническая задача по увеличению моментов инерции уголкового профиля и радиусов инерции при изгибе решена следующим образом.

Технологическая задача по способу проката уголкового профиля состоящего из пары плоских элементов, соединённых друг с другом под прямым углом, заключается в следующем.

Получение плоской заготовки из малоуглеродистой или низколегированной стали в виде ленты основано на непрерывном перемещении жидкой стали относительно зоны её заливки и кристаллизации, осуществляемом на машине, работающей по способу непрерывного литья.

Отлитую плоскую ленту заготовки после кристаллизации стали остужают до пластичного состояния 950...1100 °С, подают её на рольганг и транспортируют в клетку прокатного стана продольного проката.

Валками клетки обжимают и трансформируют пластичную ленту в уголкового профиль с площадью сечения  $A \text{ см}^2$ , состоящий из пары взаимно ортогональных прямоугольников толщиной стенки  $t \text{ см}$ , как у стандартного уголкового профиля соединённых друг с другом по плавной кривой, например по радиусу или параболе, в единое целое с такой же площадью сечения  $A \text{ см}^2$  и толщиной стенки  $t_{\text{sec}} = 0,8t \text{ см}$ . Остудив новый уголкового профиль сечения, назначают ширину сечения  $b_{\Delta}$  одного горизонтального прямоугольного элемента нового уголкового профиля равной 25 % от ширины сечения шаблонного уголкового профиля  $b$ .

Далее определяют:

площадь сечения пары прямоугольных элементов:

$$2A_{\Delta} = 2b_{\Delta}t;$$

площадь сечения пары круговых секторов (полукруг)

$$2A_{\text{sec}} = 2(A - A_{\Delta});$$

больший диаметр круга

$$D = \frac{4A_{\text{сек}}}{\pi \cdot t_{\text{сек}}} + t_{\text{сек}}.$$

габариты нового профиля – высоту сечения нового уголкового профиля, равную ширине сечения

$$h_{\text{нов}} = 0,5D + b_{\Delta};$$

все характеристики нового уголкового профиля.

При трансформации используем формулы «Справочника по сопротивлению материалов» [10].

Расстояние до центра тяжести пары секторов (от нижней грани)

$$y_1 = \frac{1}{\pi} \left( D + t_{\text{сек}} - \frac{2t_{\text{сек}}^2}{D - t_{\text{сек}}} \right);$$

$$y^* = 0,5D - y_1 \text{ (от верхней грани), } y_{\text{верх}} = y^* - 0,5t; y_{\text{низ}} = y_1 + 0,5b_{\Delta}.$$

Собственный момент инерции пары секторов относительно оси  $x$ , проходящей через центр тяжести пары секторов

$$2J_x^{\text{сект}} = 2t_{\text{сек}} \left[ 0,00686(D^2 + d^2) \cdot (D + d) - 0,0177 \frac{D^2 d^2}{(D + d)} \right].$$

Собственный момент инерции верхней пары прямоугольников (ось  $x_{\text{сект}}$ )

$$2J_x^{\text{верх}} = \frac{2 \cdot A_{\Delta} \cdot t^2}{12} + 2A_{\Delta} \cdot (y^{\text{верх}})^2.$$

Собственный момент инерции нижней пары прямоугольников (ось  $x_{\text{сект}}$ )

$$2J_x^{\text{нижн}} = \frac{2 \cdot A_{\Delta} \cdot b_{\Delta}^2}{12} + 2A_{\Delta} \cdot (y^{\text{нижн}})^2.$$

Второстепенный момент инерции верхних и нижних пар прямоугольников плюс момент инерции пары секторов (ось  $x_{\text{сект}}$ )

$$\sum J_x^{\text{второстеп}} = 2J_x^{\text{верх}} + 2J_x^{\text{нижн}} + 2J_x^{\text{сект}}.$$

Смещение «С» центра тяжести пары новых уголкового профиля вниз по отношению к оси  $x_{\text{сект}}$

$$C = \frac{\sum S_x}{\sum A} = \frac{2A_{\Delta} \cdot (y_{\text{нижн}} - y_{\text{верх}})}{\sum A}.$$

Главный момент инерции по отношению к оси  $X$

$$J_x = \sum J_x^{\text{второстеп}} - \sum A \cdot C^2.$$

По разработанному алгоритму составлен сортамент новых уголковых профилей (см. сортамент).

На рис. 3 показана пара новых уголковых профилей с нулевым зазором между ними; на рис.4 – новый уголковый профиль, состоящий из пары плоских элементов, соединённых друг с другом под прямым углом.

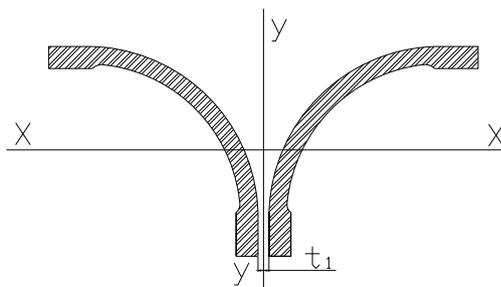


Рис. 3. Пара новых уголковых профилей с зазором между ними

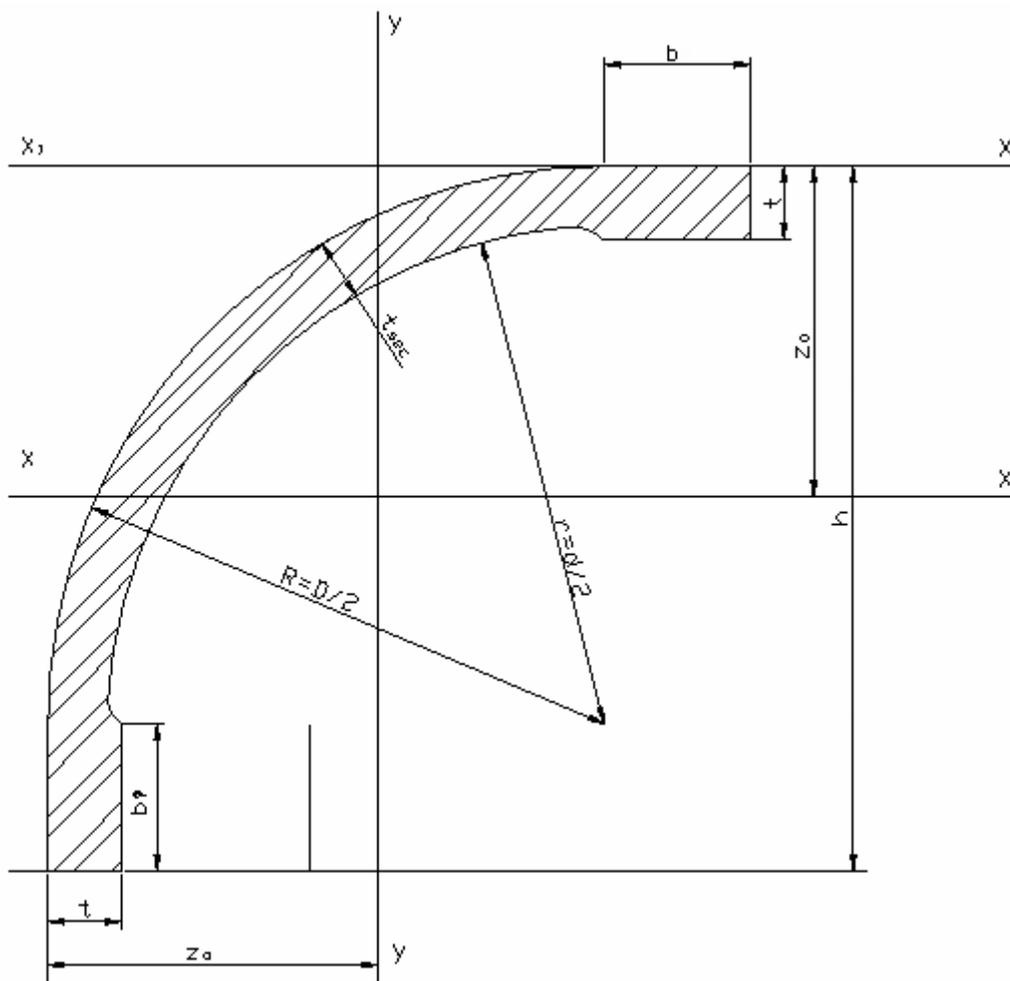


Рис. 4. Новый уголковый профиль, состоящий из пары плоских элементов, соединённых друг с другом под прямым углом

В приложении приведён сортамент новых уголкового профиля одинаковых по материалоемкости с действующим сортаментом (ГОСТ 8510–72).

Новый уголкового профиль прокатывают в клети прокатного стана продольного проката из малоуглеродистой или низколегированной стали. Отлитую плоскую ленту заготовки после кристаллизации стали остужают до пластичного состояния 950...1100 °С и транспортируют рольгангом податливую ленту в клеть прокатного.

Валками клети трансформируют пластичную ленту в уголкового профиль с такой же площадью сечения  $A$  и толщиной стенки  $t$ , как стандартного уголкового профиля, то есть  $A$  и  $t$  **const** одинаковы со стандартным профилем.

Новый уголкового профиль состоит из пары взаимно ортогональных прямоугольников 1, соединённых друг с другом плавным криволинейным участком 2, например, по радиусу в единое целое.

Ширину сечения  $b_{\Delta}$  прямоугольного элемента 1 нового уголкового профиля назначают равной 25 % от ширины сечения шаблонного уголкового профиля  $b$ .

Определяют площадь сечения пары прямоугольных элементов 1:  $2A_{\Delta} = 2b_{\Delta}t$ . Определяют площадь сечения пары круговых секторов 2 (полукруг):  $2A_{\text{sec}} = 2(A - A_{\Delta})$ .

Определяют больший диаметр круга:  $D = \frac{4A_{\text{sec}}}{\pi \cdot t_{\text{sec}}} + t_{\text{sec}}$ , высоту сечения

нового уголкового профиля, равную ширине сечения  $h_{\text{нов}} = 0,5D + b_{\Delta}$ , а затем по известным формулам определяют все характеристики нового уголкового профиля.

Сравним стандартный уголкового профиль 2 L 160×20  $A = 60,4 \text{ см}^2$ ,  $t = 2 \text{ см}$ , образующий в сборке тавр (ГОСТ 8510–72), с новым уголкового профилем с такой же площадью сечения  $A = 60,4 \text{ см}^2$ .

Каждый из пары новых уголкового профилей образован из кругового сектора и пары ортогональных прямоугольников с такой же толщиной  $t = 2 \text{ см}$ , как у стандартного уголкового профиля, расширяющих полки уголкового профилей. При трансформации используем формулы «Справочника по сопротивлению материалов» [10].

Трансформируем сечение из пары уголкового профилей, образующих прямой угол 2L160×20 мм, каждый из которых имеет площадь сечения  $A = 60,4 \text{ см}^2$  и толщину полки  $t = 2 \text{ см}$  [12], в пару новых уголкового профилей, каждый из которых состоит из пары ортогональных прямоугольников 1, расширяющих полки уголкового профилей, соединённых друг с другом круговым сектором (четверть круга). Площадь сечения нового профиля

$A = 60,4 \text{ см}^2$  const такая же, как у шаблонного уголкового профиля [12]. Толщину сектора назначаем  $\sigma$ .

### Алгоритм расчёта

При трансформации используем формулы «Справочника по сопротивлению материалов» [10]. Трансформируем уголок L 160×20 см.

1. Назначаем ширину сечения  $b_{\Delta}$  одного горизонтального прямоугольного элемента нового уголкового профиля 25 % от ширины сечения шаблонного уголкового профиля  $bP = 0,25b_{\text{ур}} \rightarrow b_{\Delta} = 0,25 \times 16 = 4 \text{ см}$ . Толщину оставляем как у стандартного уголка  $t = 2 \text{ см}$ .

2. Определяем площадь сечения пары прямоугольных элементов  $2A_{\Delta} = 2b_{\Delta}t = 2 \cdot 4 \cdot 2 = 16 \text{ см}^2$ ; тогда  $\rightarrow$  площадь сечения пары круговых секторов (полукруг)

$$2A_{\text{sec}} = 2(A - 2A_{\Delta}) = 2(60,4 - 16) = 88,8 \Rightarrow A_{\text{sec}} = 44,4 \text{ см}^2.$$

3. Из справочника  $D - d = 2t_{\text{sec}} \Rightarrow$ , где  $D$  – большой диаметр круга,  $d$  – малый диаметр круга:  $d = D - 2t_{\text{sec}} \Rightarrow d^2 = D^2 - 4Dt_{\text{sec}} + 4t_{\text{sec}}^2$ . Толщину сектора принимаем  $t_{\text{sec}} = 0,8t = 0,8 \cdot 2 = 1,6 \text{ см}$ .

4. Площадь сечения пары круговых секторов (полукруг):

$$\begin{aligned} 2A_{\text{sec}} &= 0,125\pi(4Dt_{\text{sec}} - 4t_{\text{sec}}^2) \Rightarrow 2A_{\text{sec}} = 0,5\pi(Dt_{\text{sec}} - t_{\text{sec}}^2) \\ &\Rightarrow \frac{4A_{\text{sec}}}{\pi} = Dt_{\text{sec}} - t_{\text{sec}}^2 \Rightarrow D = \frac{4A_{\text{sec}}}{\pi \cdot t_{\text{sec}}} + t_{\text{sec}}. \end{aligned}$$

5. Большой диаметр круга:

$$D = \frac{4 \cdot 44,4}{\pi \cdot 1,6} + 1,6 = 36,9324 \Rightarrow \frac{D}{2} = \frac{36,9324}{2} = 18,4622 \text{ см}.$$

6. Вертикальный прямоугольный элемент ортогонален к горизонтальному прямоугольнику. Определяем высоту сечения нового уголкового профиля, равную ширине сечения:

$$h_{\text{нов}} = 0,5D + b_{\Delta} = 0,5 \cdot 36,9324 + 4 = 22,4662 \text{ см}.$$

7. Расстояние от нижней грани до центра тяжести пары секторов:

$$y_1 = \frac{1}{\pi} \left( D + t_{\text{sec}} - \frac{2t_{\text{sec}}^2}{D - t_{\text{sec}}} \right) = \frac{1}{\pi} \left( 36,9324 + 1,6 - \frac{2 \cdot 1,6^2}{36,9324 - 1,6} \right) = 12,2191 \text{ см};$$

$$y^* = 0,5D - y_1 \Rightarrow y^* = 0,5 \cdot 36,9324 - 12,2191 = 6,2471 \text{ см (от верхней грани)}.$$

8. Расстояние от центра тяжести пары секторов до центра тяжести верхнего прямоугольного элемента и нижнего прямоугольного элемента:

$$y_{\text{верх}} = y^* - 0,5t = 6,2471 - 0,5 \cdot 2 = 5,2471;$$

$$y_{\text{низ}} = y_1 + 0,5b_{\Delta} = 12,2191 + 0,5 \cdot 4 = 14,2191 \text{ см.}$$

9. Малый диаметр: пары секторов

$$d = D - 2t_{\text{сек}} = 36,9324 - 2 \times 1,6 = 33,7324.$$

10. Собственные моменты инерции пары секторов относительно оси  $x_{\text{сект}}$ , проходящей через центр тяжести секторов:

$$2J_x^{\text{сект}} = 2t \left[ 0,00686(D^2 + d^2) \cdot (D + d) - 0,0177D^2d^2 / (D + d) \right]$$

$$2J_x^{\text{сект}} = 4 \left[ \frac{(36,9324^2 + 33,7324^2)}{145,7726} \cdot (36,9324 + 33,7324) - 0,0177 \frac{36,9324^2 \cdot 33,7324^2}{(36,9324 + 33,7324)} \right] = 3295,54.$$

Собственный момент инерции *верхней* пары прямоугольников, относительно оси  $x_{\text{сект}}$ :

$$2J_x^{\text{верх}} = \frac{2 \cdot A_{\Delta} \cdot t^2}{12} + 2A_{\Delta} \cdot (y_{\text{верх}})^2 = \frac{16 \cdot 2^2}{12} + 2 \cdot 8 \cdot (5,2471)^2 = 444,85.$$

11. Собственный момент инерции нижней пары прямоугольников (ось  $x_{\text{сект}}$ ):

$$2J_x^{\text{нижн}} = \frac{2 \cdot A_{\Delta} \cdot b_{\Delta}^2}{12} + 2A_{\Delta} \cdot (y_{\text{нижн}})^2 = \frac{16 \cdot 4^2}{12} + 2 \cdot 8 \cdot (14,2191)^2 = 3256,67.$$

12. Второстепенный момент инерции верхних и нижних пар прямоугольников плюс момент инерции пары секторов (ось  $x_{\text{сект}}$ )

$$\sum J_x^{\text{второстеп}} = 2J_x^{\text{верх}} + 2J_x^{\text{нижн}} + 2J_x^{\text{сект}} = 444,85 + 3256,67 + 3295,54 = 6997,06.$$

13. Смещение центра тяжести «С» пары новых уголкового профиля вниз по отношению к оси  $x_{\text{сект}}$

$$C = \frac{\sum S_x}{\sum A} = \frac{2A_{\Delta} \cdot (y_{\text{нижн}} - y_{\text{верх}})}{\sum A} = \frac{16 \cdot (-14,2191 + 5,2471)}{2 \cdot 60,4} = -1,188 \text{ см.}$$

14. Главный момент инерции  $2J_x$  по отношению к главной оси  $X$

$$2J_x = \sum J_x^{\text{второстеп}} - \sum A \cdot C^2 = 6997,06 - 2 \cdot 60,4 \cdot 1,188^2 = 6826,47 \text{ см}^4.$$

15. Главный момент инерции  $J_x$  по отношению к главной оси  $X$   $J_x = 3413,24 \text{ см}^4$  (одного). Увеличение момента инерции нового уголкового профиля  $3413,24/1418,85 = 2,406$  раза!

16. Радиус инерции нового уголкового профиля (min)

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{A}} = \sqrt{\frac{3413,24}{60,4}} = 7,517 \text{ см},$$

был  $i_x$  4,85. Увеличение радиуса инерции нового уголкового профиля  $7,517/4,85 = 1,55$  раза.

17.  $z_0 = y^* + C = 6,2471 + 1,188 = 7,4351.$

18. Момент инерции  $J_x$  по отношению к оси  $x$ , проходящей по грани полки уголкового профиля (одного)

$$J_x = J_x + A \cdot z_0^2 = 3413,24 + 60,4 \cdot 7,4351^2 = 6752,2 \text{ см}^4.$$

19. Момент инерции пары уголков  $J_y$  по отношению к оси  $Y$ , проходящей по вертикальным граням сомкнутых полок пары уголкового профиля при отсутствии фасонки  $J_y = 2 \cdot 6752,2 = 13504,4 \text{ см}^4.$

20. Главный момент инерции пары уголков  $J_y$  по отношению к оси  $Y$ , проходящей посередине толщины фасонки  $t_{\text{фас}} = 1 \text{ см};$

$$J_y = J_y + A \cdot (z_0 + 0,5t_{\text{фас}})^2 \Rightarrow$$

$$J_y = 13504,4 + 60,4 \cdot (7,4351 + 0,5)^2 = 17307,54 \text{ см}^4.$$

У стандартного профиля момент инерции был

$$J_y = A \cdot i^2 = 2 \cdot 60,4 \cdot 7,11^2 = 6106,69 \text{ см}^4.$$

Увеличение момента инерции нового уголкового профиля по сравнению с ГОСТ 8510–72 –  $17307,54 / 6106,69 = 2,83$  раза!

Радиус инерции пары новых уголкового профиля относительно главной оси  $Y$ :

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{2 \cdot A}} = \sqrt{\frac{17307,54}{2 \cdot 60,4}} = 11,97 \text{ см},$$

из шаблонного профиля был  $i_y = 7,11.$

Увеличение радиуса инерции нового уголкового профиля  $11,97/7,11=$   
 $=1,68$  раза.

21. По разработанному алгоритму составлен сортамент новых уголко-  
вых профилей (прил. 1, табл. 4).

Применение новых уголковых профилей позволяет получить значи-  
тельный экономический эффект.

### 1.5.Эффективный эллиптический профиль

Деформируя любой трубчатый профиль в эллиптическое сечение, мы  
можем значительно повысить прочность трубы на изгиб.

Эллиптический трубчатый профиль может быть получен непосред-  
ственно при прокате трубы, установкой клетки для дополнительного об-  
жатия готовой трубы и получения эллиптического профиля.

Покажем, при каком соотношении внешних габаритов профиля момент  
сопротивления  $W_x$  достигнет максимума.

Введём следующие обозначения:

$A$  – площадь поперечного сечения трубы;

$t$  – толщина стенки трубы;

$a, b$  – расстояния от центра тяжести эллиптического профиля до  
середины толщины стенки;

$2a + t$  – внешний габарит эллиптического профиля по оси  $X$ .

Введем коэффициент  $n = \frac{a}{b}$ , тогда  $b = \frac{a}{n}$ .

В соответствии с введенным коэффициентом минимальный габарит  
эллиптического профиля:

$\frac{2a}{n} + t$  – внешний габарит эллиптического профиля по оси  $Y$ .

Аналогичным образом записываем размеры полости:

$2a - t$  – максимальный габарит полости;

$\frac{2a}{n} - t$  – минимальный габарит полости.

Считаем, что площадь поперечного сечения  $A$  и толщина стенки  $t$   
величины постоянные (рис. 2.3).

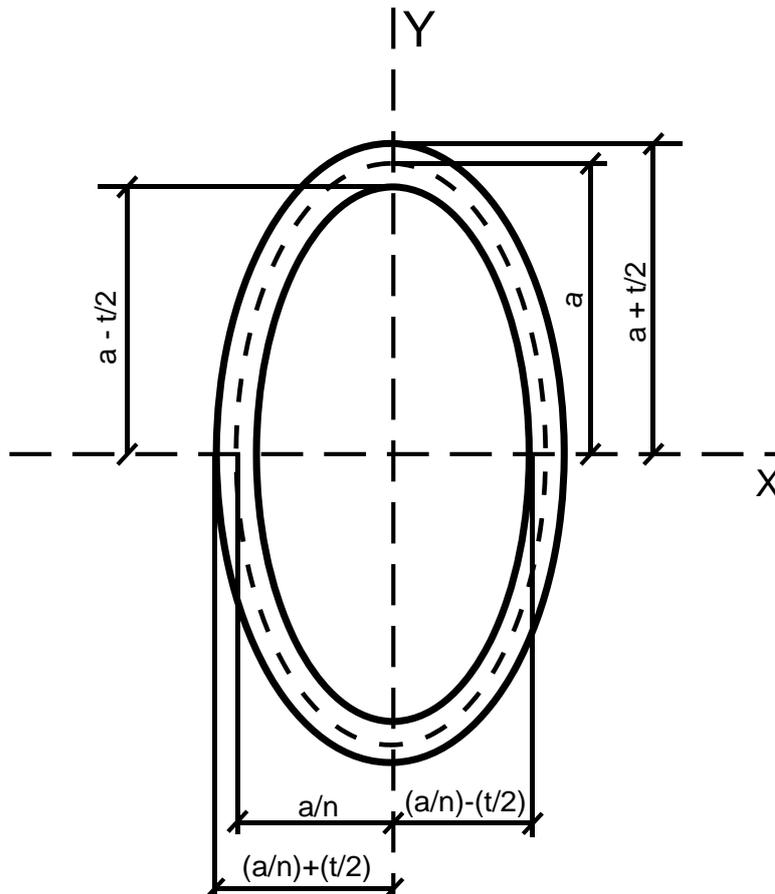


Рис. 5. Эллиптический трубчатый профиль

Площадь поперечного сечения эллипса:

$$A = \pi \cdot t \cdot \left[ \left( a + \frac{t}{2} \right) \cdot \left( \frac{a}{n} + \frac{t}{2} \right) - \left( a - \frac{t}{2} \right) \cdot \left( \frac{a}{n} - \frac{t}{2} \right) \right],$$

$$A = \pi \cdot a \cdot t \cdot \left( 1 + \frac{1}{n} \right),$$

тогда момент инерции относительно оси  $X$

$$J_x = \frac{\pi \cdot a \cdot t}{4} \cdot \left[ \frac{1}{n} \cdot \left( 3 \cdot a^2 + \frac{t^2}{4} \right) + a^2 + \frac{3}{4} \cdot t^2 \right];$$

момент сопротивления по средней линии относительно оси  $X$

$$W_x = \frac{J_x}{a},$$

$$W_x = \frac{\pi \cdot t}{4} \cdot \left[ \frac{1}{n} \cdot \left( 3 \cdot a^2 + \frac{t^2}{4} \right) + a^2 + \frac{3}{4} \cdot t^2 \right];$$

$$\frac{d}{dn} \left( \frac{1}{n} + 1 \right)^2 = -\frac{2}{n^2} \left( \frac{1}{n} + 1 \right);$$

$$\frac{dW_x}{dn} = \frac{\pi \cdot t}{4} \cdot \left[ \left( \frac{A}{\pi \cdot t} \right)^2 \cdot \left( -\frac{3}{n^2} \right) \cdot \left( \frac{1}{n} + 1 \right)^2 + \frac{2}{n^2} \left( \frac{1}{n} + 1 \right) \cdot \left( \frac{3}{n} + 1 \right) \right].$$

Получим уравнение третьей степени, показывающее, при каком значении  $n$  момент сопротивления  $W_x$  достигает максимальной величины

$$\frac{1}{n^3} + \frac{3}{n^2} + \frac{3}{n} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{2 \cdot A}{\pi \cdot t^2} \right)^2 \right] + 1 + \left( \frac{2 \cdot A}{\pi \cdot t^2} \right)^2 = 0.$$

Например, для трубы диаметром 1020 мм:

$$A = 100\pi \text{ см}^2; t = 1 \text{ см};$$

$$\frac{1}{n^3} + \frac{3}{n^2} - \frac{119997}{n} + 40001 = 0;$$

$$\frac{1}{n} = 0,333336; n = 2,99976.$$

Для тонкостенных профилей получаем максимум момента сопротивления  $W_x$  при  $n = 3$ .

Подставив  $n = 3$ , получим формулы

$$a = \frac{3}{4} \cdot \frac{A}{\pi \cdot t}, \quad b = \frac{a}{3}.$$

Момент инерции относительно оси  $X$ :

$$J_x = \frac{36A}{16} \left( 2a^2 + \frac{5}{6}t^2 \right).$$

Момент сопротивления относительно оси  $X$ :

$$W_x = \frac{J_x}{a + t/2}.$$

Момент инерции относительно оси  $Y$ :

$$J_y = \frac{\pi}{4} \cdot \left[ a \cdot \left( \frac{a}{n} \right)^3 - \left( a - \frac{t}{2} \right) \cdot \left( \frac{a}{n} - \frac{t}{2} \right)^3 \right].$$

Момент сопротивления относительно оси  $Y$ :

$$W_y = \frac{J_y}{\frac{a}{n} + \frac{t}{2}}.$$

Статический момент половины сечения:

$$S_{\frac{1}{2}\text{сеч}} = \frac{t}{36} \cdot (40 \cdot a^2 + 3 \cdot t^2).$$

Момент инерции при кручении и радиусы инерции эллиптического трубчатого профиля записываем в соответствии со справочником по сопротивлению материалов.

По полученным математическим зависимостям составлен сортамент эллиптических трубчатых профилей (прил. 1, табл. 5).

Из этого сортамента видно, момент инерции профиля в 2 раза больше, чем у двутавра, а момент инерции на кручение профиля в 200 раз больше, чем у стандартного двутавра.

Из этого следует, что эллиптические трубчатые профили найдут широкое применение в подкрановых конструкциях, для перекрытия больших пролетов, при замене решетчатых конструкций промышленных и гражданских зданий, так как отсутствуют концентраторы напряжения.

Трубчатые профили обладают естественной амортизирующей способностью.

### **Сравнение геометрических характеристик стандартного двутаврового профиля с эквивалентным эллиптическим трубчатым профилем**

Заменим двутавровый профиль  $\text{I100Б4 [20]}$  ( $h = 1014$  мм;  $b = 323,1$  мм;  $h_{\text{ст}} = 948$  мм; толщина стенки  $t_{\text{ст}} = 18,6$  мм; толщина полки  $t_{\text{п}} = 33$  мм; площадь поперечного сечения  $A = 395$  см<sup>2</sup>) эквивалентным эллиптическим трубчатым профилем с этой же площадью поперечного сечения  $A = 395$  см<sup>2</sup>.

Толщина стенки эллиптического трубчатого профиля равна:

$$t_{\text{ст}} \frac{18,6}{2} = 9,3 \text{ мм}.$$

Момент инерции относительно оси  $X$ :

$$J_x = \frac{3 \cdot A}{16} \left( 2 \cdot a^2 + \frac{5}{6} \cdot t^2 \right).$$

Момент сопротивления относительно оси  $X$ :

$$W_x = \frac{J_x}{a + 0,5 \cdot t}.$$

Момент инерции при кручении эллиптического трубчатого профиля записываем в соответствии со справочником по сопротивлению материалов [10]:  $J_x = 1522981,6 \text{ см}^4$ , а для двутавра 100Б4  $J_x = 662170,0 \text{ см}^4$ , т.е. увеличение на 130 %,  $W_x = 14951,4 \text{ см}^3$ , а для двутавра 100Б4  $W_x = 13060 \text{ см}^3$ , т.е. увеличение на 14,5 %.

Момент инерции при кручении:  $J_{кр} = 201664,6 \text{ см}^4$ , а для двутавра 100Б4  $J_{кр} = 977,4 \text{ см}^4$ , т.е. увеличение в 206,3 раза.

Таким образом, эллиптический трубчатый профиль при  $n = 3$  имеет отличные характеристики.

## 2. КРАНОВЫЕ РЕЛЬСЫ

В настоящее время является актуальным разработка и внедрение в производство новых типов рельсов с улучшенными физико-техническими характеристиками, рассмотрим перспективные виды крановых рельсов, которые были разработаны в ПГУАС.

### 2.1. Крановые арочные рельсы

На рубеже второго и третьего тысячелетий были изобретены *амортизирующие арочные рельсы* [Патент России №2208570], приведённые на рис. 6, со следующими характеристиками (табл. 2, табл. 3).

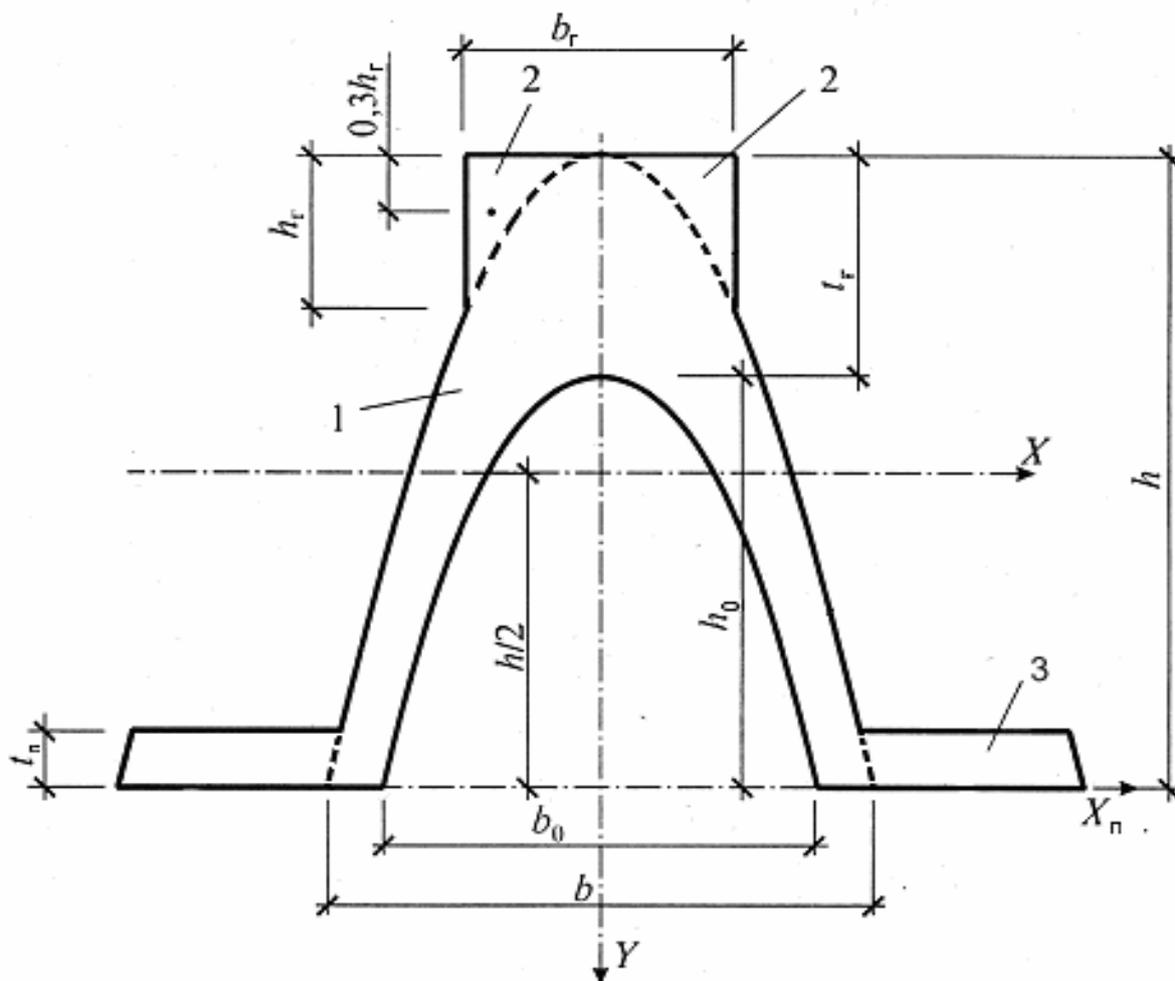


Рис.6. Поперечное сечение арочного рельса:  
1 – арка, 2 – параболические треугольники, 3- подошвы

Т а б л и ц а 2

Размеры, см, амортизирующих арочных рельсов

Рельсы	$b_{\Gamma}$	$b-b_0$	$b$	$b_{\max}$	$2b_{\Pi}$	$h$	$t_{\Gamma}$	$A_{\Pi}$
АрКР50	5	1,0	10,0	25,1	12,2	11,5	1,6	8,54
АрКР60	6	1,2	10,7	28,2	15,0	15,7	1,8	11,25
АрКР70	7	1,6	11,7	31,3	17,0	18,7	2,0	12,0
АрКР80	8	1,68	14	36,7	19,88	20,0	2,1	17,89
АрКР100	10	1,8	16,3	46,8	27,4	23,2	2,5	27,4
АрКР120	12	1,8	19,0	47,1	16,3	30,0	2,8	16,3
АрКР140	14	2,0	22,0	53,8	17,2	32,2	3,0	17,2

Т а б л и ц а 3

Характеристики амортизирующих арочных рельсов

Рельсы	$A, \text{см}^2$	$J_x, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$J_y, \text{см}^4$	$W_y, \text{см}^3$	$J_p, \text{см}^4$	Масса, кг
АрКР50	38,0	780,9	135,8	1310,1	104,4	2091	29,846
АрКР60	50,92	1971,5	251,2	2110,6	149,8	4082,1	39,97
АрКР70	67,31	3618,7	387	3299,4	211	6918,1	52,84
АрКР80	81,08	5042,7	504,3	5525,2	301,1	10567,9	63,65
АрКР100	112,91	9712,0	836,5	12095,9	516,9	21807,8	88,63
АрКР120	149,37	22073,2	1470,6	19322	820,5	41401,5	117,23
АрКР140	194,99	32171,6	1999,5	32077,7	1192,9	64249,3	153,07

Сравнение разработанных амортизирующих арочных рельсов со стандартными, прокатываемыми в настоящее время, показывает *неоспоримые преимущества* арочных рельсов (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Увеличение моментов инерции и моментов сопротивления  
амортизирующих арочных рельсов по отношению  
к обычным рельсам, разы

Рельсы	$J_x$	$W_x$	$J_y$	$W_y$	$J_p$
АрКР50/КР50	2,18	1,782	11,76	4,207	4,45
АрКР60/КР60	3,01	2,178	10,779	4,004	4,800
АрКР70/КР70	3,558	1,966	10,319	3,959	4,931
АрКР80/КР80	3,309	2,161	11,792	4,180	5,304
АрКР100/КР100	3,46	2,272	13,155	4,215	5,854
АрКР120/КР120	4,602	2,664	11,55	4,27	6,4
АрКР140/КР140	5,81	3,162	12,30	3,89	7,90

Главные преимущества амортизирующих арочных рельсов:

- ✓ гарантированное увеличение основных характеристик без увеличения материалоемкости, например, увеличение моментов инерции при изгибе  $J_x$  в 2...6 раз,  $J_y$  в 10...13 раз;
- ✓ наличие у рельсов естественной амортизирующей способности, возникшей в результате арочного очертания профиля;
- ✓ хорошая устойчивость при действии сил  $T_{\text{loc}}$  за счёт значительной ширины профиля.

Прокат амортизирующих арочных рельсов не налажен, но они могут быть заменены сборными амортизирующими арочными рельсами, состоящими из стандартного кранового рельса КР-140, расширителя подошвы рельса, гнутого из прокатной полосовой стали, и прокатного шпунта как амортизатора рис. 7 [21].

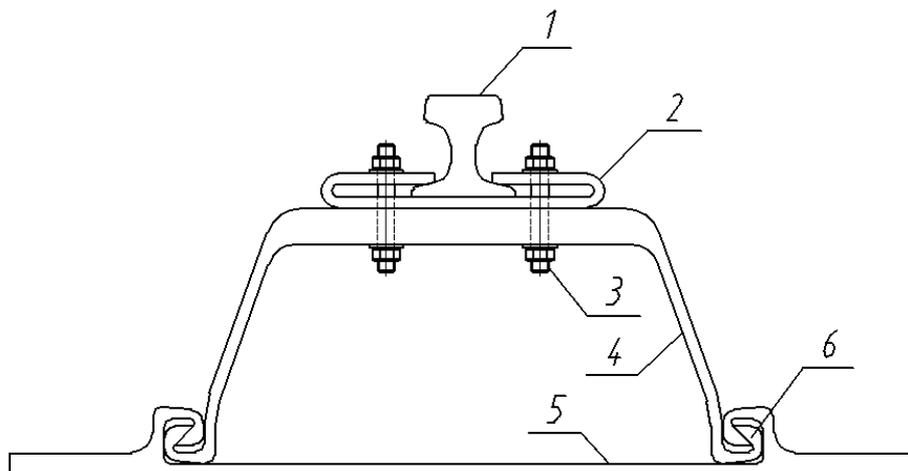


Рис. 7. Сборный амортизирующий рельс:  
1 – рельс КР-140; 2 – расширитель подошвы; 3 – шпильки; 4 – шпунт;  
5 – затяжка; 6 – ответные шпунтовые соединения

Стандартный крановый рельс, например КР-140 вдвигают продольно с торца в расширитель подошвы, снабжённый соосными отверстиями с одной и другой стороны, и охватывают подошву рельса снизу и с боков.

Неподвижно соединяют расширитель подошвы рельса с аркой-амортизатором, высокоресурсным соединением, например, высокопрочными легированными шпильками (болтами) с гарантированным натягом (сталь 40 X «Селект»), в единое целое и образуют амортизирующий арочный рельс. Изготавливают плоскую затяжку, со шпунтовыми соединениями ответными шпунтовым соединениям пят арки-амортизатора рельса и рядами соосных отверстий с регулярным шагом для соединения с подкрановой балкой. Вдвигают продольно с торца пят арки-амортизатора в шпунтовое соединение плоской затяжки и образуют замкнутый по контуру амортизирующий арочный рельс.

Основные характеристики элементов *амортизирующего* арочного рельса даны в табл. 5: габариты  $b \times h$ , см, площадь сечения  $A$ , см<sup>2</sup>, центр тяжести  $y$ , см (от подошвы), масса  $m$ , момент инерции  $J_x$ , см<sup>4</sup>.

Т а б л и ц а 5

Характеристики составного амортизирующего рельса.

	$b \times h$	$A$ , см <sup>2</sup>	$y$ , см	$m$ , кг/м	$J_x$ , см <sup>4</sup>
Рельс	17×17	187,24	8,75	146,98	5528,3
Расширитель подошвы	40×3,4	70,8	1,5	55,57	118,6
Шпунт	42×17,15	127,4	3,54	100,32	6243

## 2.1. Крановый трапецеидальный рельс

Очевидно, что с точки зрения работы конструкции наиболее выгодным является сечение, в котором основная масса материала удалена от центра тяжести (рис. 8). Поэтому, рассматривая профиль традиционного рельса, приходим к выводу о его несовершенстве. Наиболее выгодной, в этом случае, является арка [22].

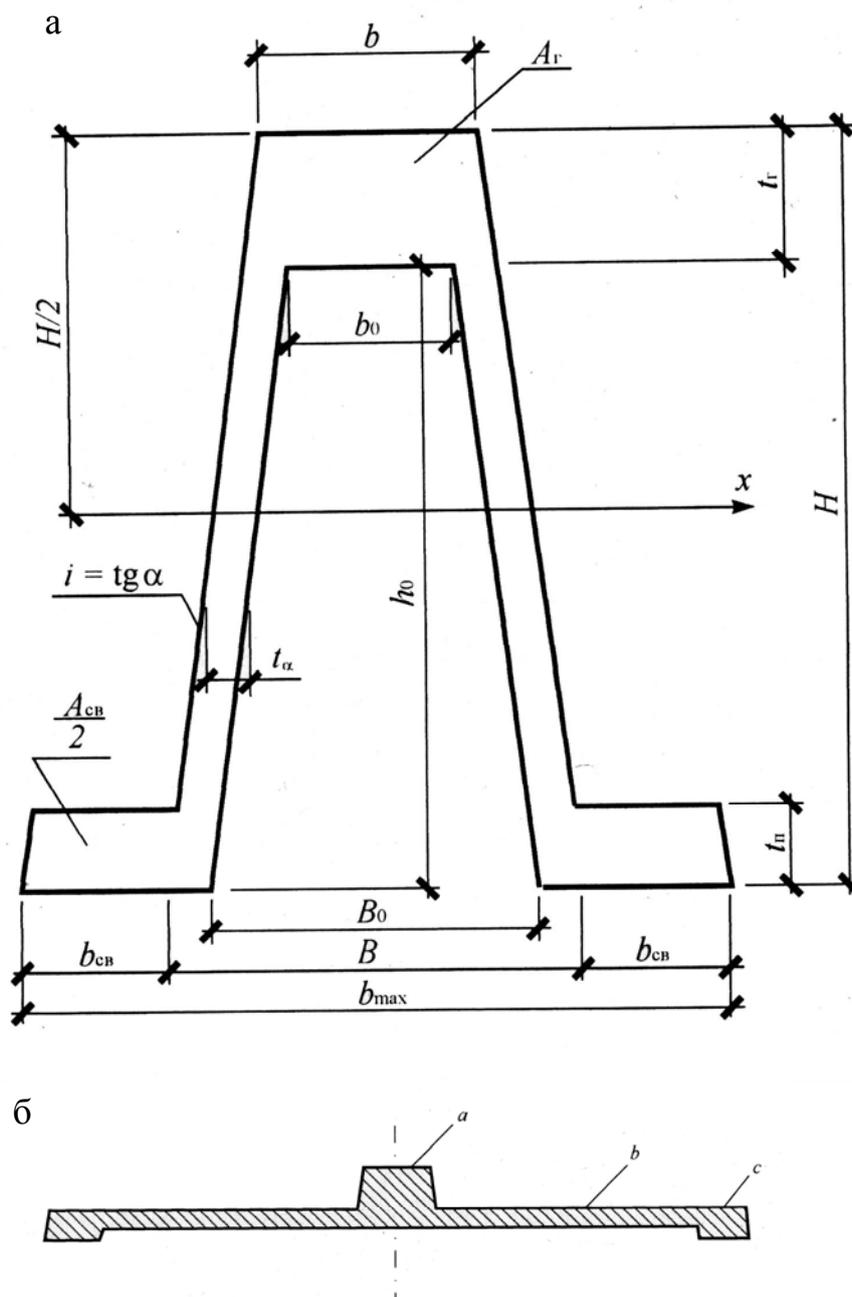


Рис. 8. Арочный трапецеидальный рельс:  
а – поперечное сечение; б – заготовка

Арочная форма сечения рельса смягчает, амортизирует от колес крана и обеспечивает выгодное соотношение между высотой и шириной сечения. В нашем случае отношение высота к ширине находится в пределах 0,8...1, то есть ширина больше высоты и устойчивость рельса хорошая.

Сечение рельса сбалансировано. Балансировка достигается следующим образом. Площади всего сечения  $A$  и главы рельса  $A_r$  оставляем неизменными как у аналога. Толщину двух стенок арочного рельса  $2t_{ct}$  принимаем равной 50...70 % от толщины стенки прототипа. Наклон стенок арки к вертикали принимаем равным наклону боковых поверхностей главы рельса, то есть у железнодорожных рельсов уклон  $\text{tg } \varphi = 0,05$ , а у крановых  $\text{tg } \varphi = 0,1$ . Назначаем толщину подошвы рельса  $t_n$  равной 50...60 % от толщины  $t_r$  главы.

Затем уравниваем статические моменты верхней и нижней частей рельса относительно главной горизонтальной оси  $x$

$$S_{xв} = S_{xn},$$

и из этого условия получаем квадратное уравнение для определения высоты сечения  $H$  сбалансированного арочного рельса.

$$H^2 - H \left( \frac{A - 2A_r}{2t_{\alpha}} + 2t_r + t_n \right) - \left[ (t_n + 2y_r) \left( \frac{A_r}{2t_{\alpha}} - t_r \right) - A \frac{t_n}{2t_{\alpha}} \right] = 0,$$

где  $y_r$  – расстояние от верхней грани рельса до центра тяжести трапецидальной главы:

$$y_r = \frac{t_r}{3} \left( 2 - \frac{b - 2t_{\alpha}}{b + b_1 - 4t_{\alpha}} \right);$$

здесь  $2t_a = 2t_{ct} / \cos \alpha$  – толщины двух стенок арки с учётом угла их наклона;

$b$  и  $b_n$  – ширина главы соответственно вверху и внизу (из площади главы исключена площадь двух стенок  $2t_a$   $t_r$  на толщине  $t_r$  главы).

Затем находим необходимую площадь двух свесов пят арки, обеспечивающую равновесие сечения:

$$A_{св} = A - (A_{трап} - A_{полости})$$

и необходимую ширину двух свесов пят

$$2b_{св} = \frac{A_{св}}{t_{под}}.$$

Характеристики сбалансированного сечения определяем по известным формулам сопротивления материалов.

Вычисляем второстепенный момент инерции рельса относительно оси, проходящей по нижней грани подошвы  $x_n$ :

$$J_{x_n \text{ рел}} = \frac{H^2}{6} (A_{\text{тр}} + A_{\text{прям}}) - \frac{h_0^2}{6} (A_{0 \text{ тр}} + A_{0 \text{ прям}}) + \frac{t_n^2}{3} A_{\text{св}},$$

где  $A_{\text{тр}}$  и  $A_{\text{прям}}$  – соответственно, площадь внешней трапеции и выделенной из неё прямоугольной части;

$A_{0 \text{ тр}}$  и  $A_{0 \text{ прям}}$  – соответственно площадь трапецеидальной полости под рельсом и выделенной из неё прямоугольной части;

$H$  – высота рельса;

$h_0$  – высота полости под рельсом.

Главный момент инерции арочного трапецеидального рельса относительно главной оси  $X$  будет равен:

$$J_{x \text{ рел}} = J_{x_n \text{ рел}} - A \cdot \left( \frac{H}{2} \right)^2.$$

Главный момент инерции арочного трапецеидального рельса относительно вертикальной оси  $Y$ :

$$J_{y \text{ рел}} = \frac{1}{24} \left[ A (B^2 + b^2) - A (B_0^2 + b_0^2) \right] + \frac{A_{\text{п}}}{4} \left[ (B - b_{\text{п}} - t_{\text{под}} \cdot \text{tg} \alpha)^2 + \frac{b_{\text{п}}^2}{3} \right],$$

где  $b$  – ширина контактной поверхности верхнего основания трапеции;

$B$  – ширина нижнего основания трапеции по внешнему контуру;

$b_0$  – ширина трапецеидальной полости сверху;

$B_0$  – ширина основания трапецеидальной полости снизу;

$b_{\text{св}}$  – ширина свесов пары параллелограммов подошвы рельса;

$t_{\text{под}}$  – толщина подошвы рельса.

Форма рельса значительно упрощает его прокат. Первоначально прокатывают плоскую заготовку (см. рис. 8), а затем ей придают арочную форму сечения рельса.

Упрощается крепление арочного трапецеидального рельса. Обеспечивается зажим его, препятствующий угону. Расход металла на арочный трапецеидальный рельс уменьшается, так как изгиб шейки при действии  $T$  исключён, и она работает только на сжатие. Все переходы от одного элемента к другому плавные по радиусу, что обеспечивает минимальную концентрацию напряжений.

На арочный трапецеидальный рельс передаются основные вертикальные  $P$  и горизонтальные  $T$  силы.

Вертикальную силу  $P$  воспринимает центральная глава «а». Горизонтальная же сила  $T$  передаётся через шейки «b» на пяты «с» рельса по второму каналу.

Горизонтальный распор арки воспринимает подрельсовая подкладка.

Кривизна шеек «b» арки позволяет регулировать амортизирующую способность рельса. Под пятами «с» рельса могут быть подложены амортизирующие изолирующие подкладки.

Горизонтальная сила  $T$  от каждого колеса крана в одной из шеек «b» уменьшает сжатие, а в другой увеличивает; таким образом, изгиб шейки ликвидирован. Рельс устойчив и легко закрепляется на подрельсовой подкладке или на балке.

Экономический эффект достигается от улучшения всех характеристик рельсового пути.

В табл. 6–9 приведены характеристики сечений сортамента разработанных арочных крановых и железнодорожных рельсов.

Т а б л и ц а 6

Размеры арочных трапецидальных рельсов

Тип	$b$ , см	$b_1$ , см	$2t_a$ , см	$H$ , см	$t_r$ , см	$t_n$ , см	$A_r$ , см <sup>2</sup>	$A_{П_2}$ , см <sup>2</sup>	$2t_w$ , см	$2b_n$ , см	$b_{max}$ , см	$m$ , кг
КР140	14	15	3,216	25,18	5	2,5	72,5	50,0	0,2	20,02	39	146,98
КР140	14	15	3,015	26,14	5	2,5	72,5	51	0,2	20,4	39,63	146,98
КР120	12	12,9	2,211	28,35	4,5	2,25	56,03	41,8	0,2	18,6	36,28	118,29
КР100	10	10,8	1,909	25,45	4	2	41,6	30,8	0,2	15,44	30,53	89,05
КР80	8	8,7	1,608	22,84	3,5	1,75	29,23	21,5	0,2	12,29	24,86	64,24
КР70	7	7,65	1,407	21,62	3,25	1,625	23,81	17,5	0,2	10,8	22,13	52,77

Т а б л и ц а 7

Параметры арочных трапецидальных рельсов

Тип	$A$ , см <sup>2</sup>	Геометрические характеристики относительно осей $x-x$ $y-y$					
		$J_x$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>	$S_{1/2}$ , см <sup>3</sup>	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$J_p$ , см <sup>4</sup>
КР140	187,24	16558,6	1317,5	820,1	15873,8	814,7	32462,4
КР140	187,24	18187,1	1391,5	860,4	16485,9	832,0	34673,0
КР120	150,69	17983,0	1268,6	768,7	11201,1	617,4	29184,1
КР100	113,44	10838,3	851,6	516,8	5967,9	390,9	16806,2
КР80	81,84	6226,3	545,2	331,7	2849,3	229,2	9075,6
КР70	67,22	4585,5	424,1	257,8	1861,4	168,2	6446,8

Таблица 8

Увеличение характеристик арочных трапецеидальных рельсов  
по сравнению с крановым рельсом ГОСТ 4121–76

Тип	$A, \text{см}^2$	Геометрические характеристики рельса относительно				
		$J_x, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$J_y, \text{см}^4$	$W_y, \text{см}^3$	$J_p, \text{см}^4$
КР140	1	3,29	2,20	6,32	2,71	4,26
КР120	1	3,75	2,3	6,7	3,14	4,51
КР100	1	3,86	2,31	6,49	3,19	4,51
КР80	1	4,09	2,34	6,08	3,15	4,56
КР70	1	4,23	2,38	5,82	3,16	4,60

Таблица 9

Увеличение характеристик арочных трапецеидальных рельсов  
по сравнению с существующими железнодорожными рельсами

Тип	$A, \text{см}^2$	Геометрические характеристики рельса относительно осей $x-x$ $y-y$				
		$J_x, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$J_y, \text{см}^4$	$W_y, \text{см}^3$	$J_p, \text{см}^4$
Р75 ГОСТ 16210-77	1	2,24	1,68	3,05	2,29	2,35
Р65 ГОСТ 81-63-63	1	2,22	1,68	3,16	2,34	2,35
Р50 ГОСТ 7174-65	1	2,53	1,77	3,66	2,39	2,70
Р43 ГОСТ 7173-54	1	2,88	1,82	4,31	2,6	3,10

Сравнение нового сортамента рельсов с существующим сортаментом показывает следующее: при неизменной материалоемкости все параметры арочного рельса резко возросли:

1. Момент сопротивления при изгибе  $W_{\text{рел}}$  в вертикальной плоскости относительно оси  $X$  – в 1,6...2,1 раза!

2. Моменты инерции  $J_{x \text{ рел}}$  – в 2...2,5 раза!

3. Моменты сопротивления при изгибе в горизонтальной плоскости  $W_{y \text{ рел}}$  – в 2,5... 3 раза!

4. Моменты инерции  $J_{y \text{ рел}}$  – в 3...4 раза!

5. Полярные моменты инерции – в 2...2,5 раза!

6. Арочным рельсам приданы амортизирующие свойства, повышающие их выносливость.

7. При выполнении подрельсовой подкладки, непрерывной по всей длине рельса, эти показатели увеличиваются дополнительно в 1,5...2 раза!

8. Рельс более устойчив при опрокидывании.

9. Прокат арочных рельсов может быть налажен на действующих станах.

Благодаря амортизирующей способности уменьшается износ рельсов и колёс составов; повышенная надёжность рельсового пути увеличивает безопасность движения, а также скорость движения мостовых кранов.

### 2.3. Специальные конструкции рельсов для параллельных подкрановых балок средних рядов

#### 2.3.1 Арочный параболический рельс асимметричного профиля

Разработан специальный арочный рельс для трубчатых подкрановых балок (рис. 9).

Рельс 1 содержит главу *a*, помещённую в замке двух ветвей (*b* и *c*) арки и предназначенную для восприятия вертикальных воздействий ***P*** основных колёс кранов. Каждая из ветвей плавно переходит в подошву *d*, копирующую поверхность трубы 2. Помещённая выше подошва *d* заканчивается продольным отгибом *e*, предназначенным для соединения регулировочной шпилькой с параллельным рельсом (не показан). Нижерасположенная подошва *d* снабжена боковой главой *f*, предназначенной для восприятия горизонтальных воздействий ***T*** от направляющих роликов крана. Обе подошвы соединены с трубчатой подкрановой балкой, например, высокоресурсным болтовым соединением 3 или с использованием заклёпок с внедряемым сердечником [23].

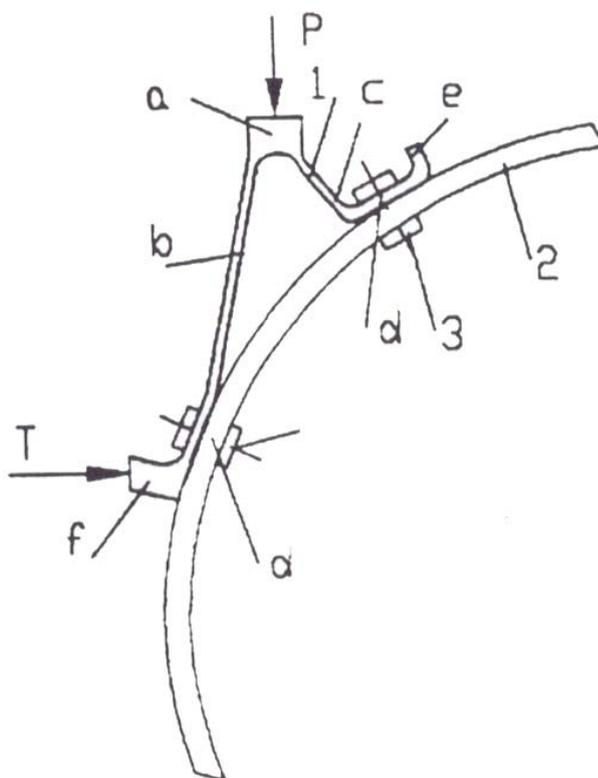


Рис. 9. Арочный рельс для трубчатой балки  
1 – рельс; 2 – балка; 3 – высокопрочный болт

Экономический эффект достигается при установке рельсов на трубчатую подкрановую балку.

Разработанная конструкция позволяет *снизить* материалоемкость на 30...35 % и одновременно резко повысить долговечность подкрановых конструкций из-за уменьшения концентрации напряжений в 3...4 раза! То есть доведения её до минимума. Обеспечиваются амортизация конструкций благодаря использованию арочных рельсов и трубчатой подкрановой балки, а также работа подкрановой конструкции в области так называемой «неограниченной выносливости». Уменьшается трудоёмкость изготовления и обслуживания подкрановой конструкции.

### 2.3.2. Крановые рельсы для трубчатых подкрановых балок по средним рядам колонн

В настоящее время нет технических решений, позволяющих прикрепить рельс без продольных сдвигов к трубчатой подкрановой балке.

На рис. 10 показано сечение кранового рельса 1, содержащего главу *a*, помещённую в стыке двух шеек *b*. Шейки *b* плавно переходят в ортогональные к ним пяты *c*. Пяты соединены с подкрановой балкой 2 заклёпками 3 с внедрёнными сердечниками [23]. Такое соединение исключает сдвиги.

При этом главные колёса крана взаимодействуют с горизонтальной поверхностью катания главы рельса, а направляющие ролики крана – с вертикальной поверхностью катания главы.

Существенные отличия разработанного кранового рельса:

✓ Профиль сечения рельса позволяет надёжно соединять его подошвы с трубой балки, исключить сдвиги и добиться совместности их работы при изгибе как единого целого.

✓ Конструктивная форма рельсов обеспечивает *выполнение им функций поясов подкрановой балки*, причём дополнительный эффект достигается за счёт большей прочности стали рельса по сравнению с прочностью стали балки.

✓ Помещая стыки рельсов в *сжатой* при изгибе части сечения и передавая напряжения сжатия через фрезерованные торцы рельсов, обеспечиваем *превращение разрезного подкранового пути в неразрезной*.

Экономический эффект достигнут *повышением долговечности* подкрановой конструкции вплоть до области так называемой «неограниченной выносливости», так как возникновение усталостных трещин в ней *исключено*. Значительно снижена её материалоемкость (до 20 %).

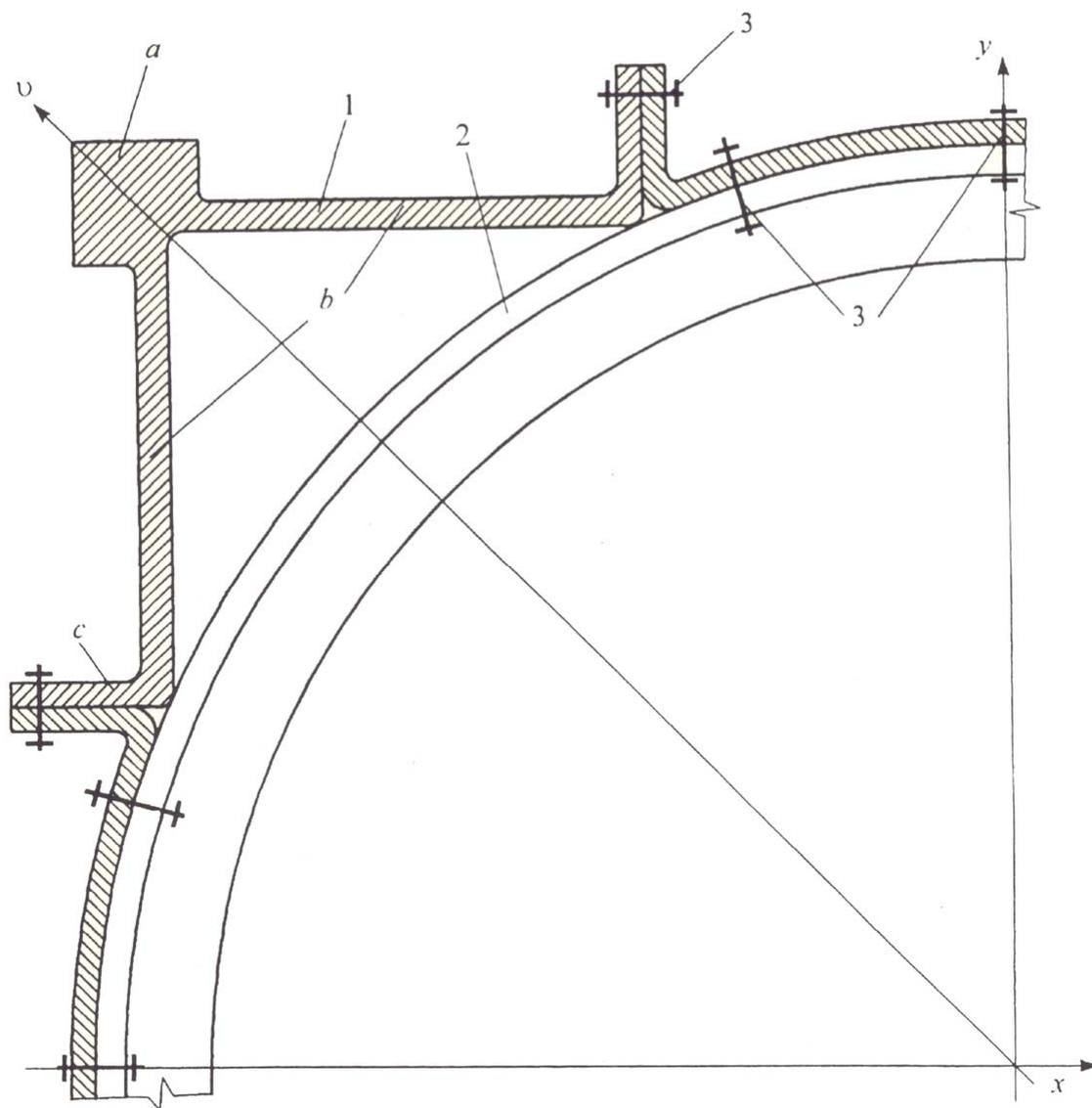


Рис. 10. Сборная трубчатая подкрановая конструкция:  
 1 – арочные рельсы; 2 – кольца, свальцованные из тавров или уголков и установленные с регулярным шагом по длине балки; 3 – заклёпки с внедряемыми сердечниками, объединяющими: арочные рельсы, кольца и гнутые швеллерные элементы в единую трубчатую подкрановую конструкцию

### 3. РЕЛЬСОБАЛОЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ИХ УЗЛЫ

В настоящем разделе будут представлены различные эффективные рельсобалочные конструкции, а также виды их узлов (соединений). На все приведённые конструкции получены патенты РФ.

#### 3.1. Соединение рельсов с трубчатым поясом подкрановой балки

Проблема надёжного без сдвигов соединения рельсов с подкрановыми балками рассмотрена во многих работах разных авторов [24].

Невозможность надёжного закрепления рельса на трубчатом поясе подкраново-подстропильной балки вело к поиску новых конструктивных решений [25, 26]. Самые успешные решения были запатентованы [27].

Пока не налажен выпуск таких, подкладок возможно применение литых чугунных подкладок, однако необходимо стремиться к широкому использованию таких соединений и к их промышленному внедрению.

При использовании таких соединений происходит повышение надёжности узла соединения рельсов с трубчатым поясом подкраново-подстропильной балки и снижение трудоёмкости монтажа и демонтажа рельсов при последующей замене.

Предложено соединение рельсов (рис. 11) с трубчатым поясом подкраново-подстропильной конструкции, состоящее из рельсов, подрельсовой подкладки и клемм. Два рельса выполнены с односторонней подошвой и образуют симметричную пару, соприкасающуюся боковыми поверхностями их глав. Подрельсовая подкладка выполнена с центральным гребнем, плотно западающим в полость между шейками пары рельсов и контактирующим с нижней поверхностью глав пары рельсов, и с двумя боковыми наклонными гребнями, образующими продольные каналы для односторонних подошв каждого из рельсов.

Подошвы рельсов вложены в продольные каналы, при этом рельсы плотно соприкасаются боковыми поверхностями шеек с центральным гребнем подрельсовой подкладки. В каждый из зазоров между наклонным гребнем подрельсовой подкладки и наружной поверхностью каждого из пары рельсов вложена Г-образная клемма, плотно заполняющая зазор. Свободный наружный конец каждой из Г-образных клемм взаимодействует нижней поверхностью с домкратным болтом, а подошва подрельсовой подкладки, копирующая поверхность трубчатого пояса подкраново-подстропильной балки, снабжена полостями и соединена с трубчатым поясом подкраново-подстропильной балки полыми заклёпками с замыкающим сердечником в каждой.

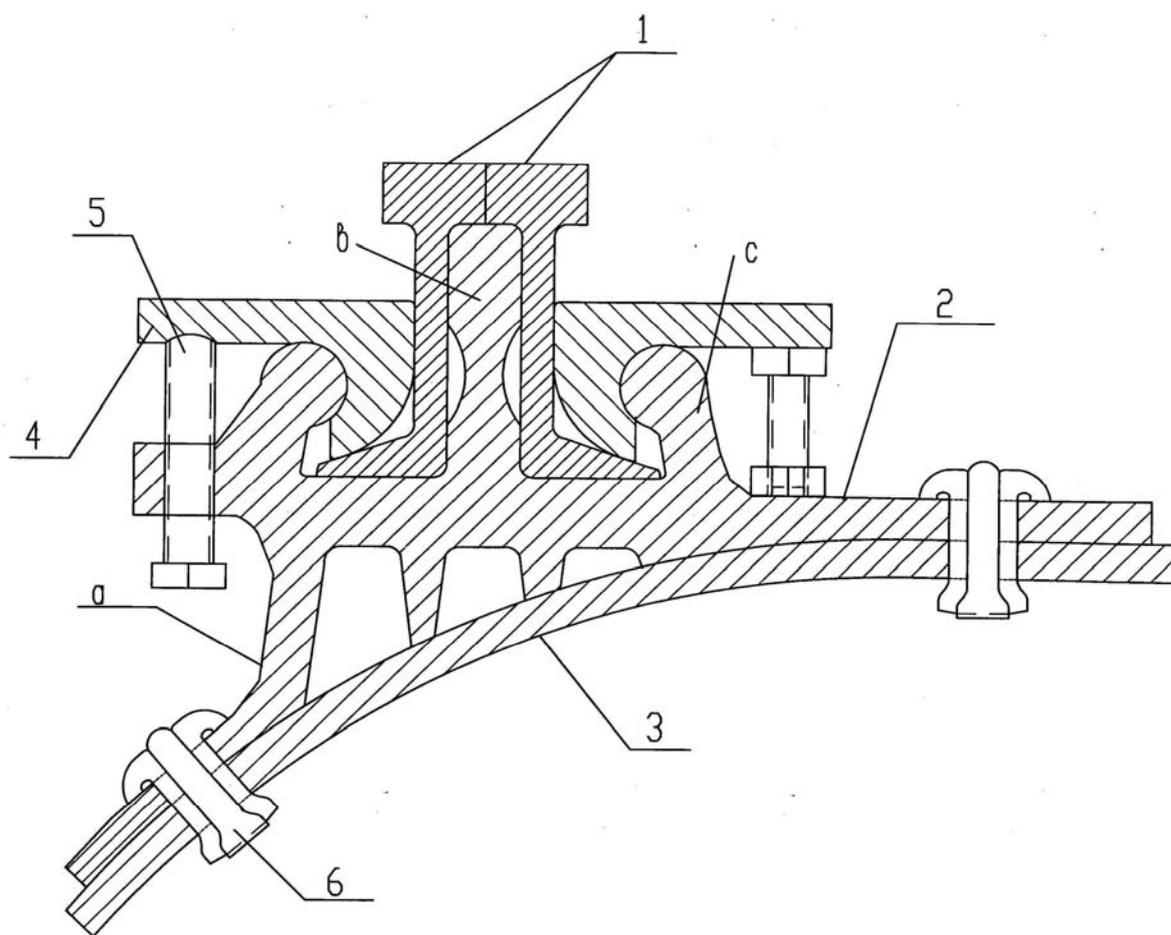


Рис. 11. Соединение рельса с подкраново-подстропильной балкой

Узел содержит пару рельсов 1 с односторонними подошвами, подрельсовую подкладку 2, содержащую подошву *a*, копирующую своей нижней поверхностью трубчатый пояс 3 подкраново-подстропильной балки. На подошве *a* подрельсовой подкладки 2 имеются центральный гребень *b* и боковые наклонные гребни *c*.

Центральный *b* и боковые *c* гребни образуют два продольных канала для вкладывания в них рельсов 1. Вложенные в каналы рельсы 1 плотно контактируют нижней поверхностью голов с верхним торцом центрального гребня *b*, а боковыми поверхностями шеек – с боковыми поверхностями центрального гребня *b*.

Для облегчения вкладывания рельсов 1 в каналы центральный гребень имеет утоньшение.

Между вложенными в каналы рельсами и боковыми гребнями имеется зазор. В этот зазор плотно вложены Г-образные клеммы 4, которые могут быть или непрерывными по всей длине рельсов или поставлены с шагом

$$S = (5 \dots 8) h,$$

где *h* – высота рельса.

Свободный конец каждой из Г-образных клемм опёрт на домкратный болт 5, который предназначен для поддомкрачивания конца Г-образной клеммы и надёжного фрикционного зажима пары рельсов в подрельсовой подкладке.

Для увеличения коэффициента трения рельсы и Г-образные клеммы обрабатываются дробеструйным способом.

Мы называем соединение фрикционным по следующим причинам:

- ✓ пара рельсов удерживается от проскальзывания в каналах за счёт сил трения;
- ✓ соединение затянуто с гарантированным натягом посредством домкратных болтов;
- ✓ сила, развиваемая домкратным болтом 5, увеличивается клеммой 4, являющейся рычагом с выгодным соотношением плеч.

Таким образом, фрикционные соединения пары рельсов с подрельсовой подкладкой 2 исключают продольное проскальзывание рельсов и обеспечивают работу пары рельсов и подрельсовой подкладки 2 как единого целого.

В результате такой конструкции получен единый составной рельс, имеющий сменные истираемые во время работы части – пару рельсов 1, и остающуюся незаменяемой подрельсовую подкладку 2.

В свою очередь, подрельсовая подкладка неподвижно соединена с трубчатым поясом подкраново-подстропильной балки полыми заклёпками 6 с внедряемыми сердечниками или посредством фрикционных (высокопрочных) болтов или шпилек.

Следовательно, пара рельсов и подрельсовая подкладка 2 работают в составе сечения трубчатого пояса подкраново-подстропильной балки как единое целое и этим обеспечивают снижение материалоемкости.

Эффективность достигается следующим:

- ✓ в узле соединения применены надёжные соединения, отлично работающие при длительных воздействиях, а именно, фрикционные болты (шпильки) и полые заклёпки с замыкающими сердечниками;
- ✓ эффективные коэффициенты концентрации напряжения сведены к минимуму (близки к единице);
- ✓ фрикционное соединение рельсов с трубчатым поясом балки быстроразъемное, причём каждый из пары рельсов 1 легко заменяется поочередно без нарушения рельсового пути и без остановки работы мостовых кранов и, следовательно, цеха.

Использование данного соединения может дать существенный экономический эффект, особенно на предприятиях металлургического комплекса, где проблема создания эффективных устройств для подкрановых балок стоит особенно остро. В ходе исследования данного соединения была опубликована научная статья [28].

### 3.2. Узел упругого соединения трёхглавого рельса с подкрановой балкой

Одна из актуальных проблем при увеличении выносливости долговечных подкрановых балок, является разработка устройств уменьшающим максимумы локальных напряжений  $\sigma_y$ , приводящих к появлению усталостных трещин в подрельсовой зоне подкрановой балки

Известны технические решения, разработанные В.Ф. Сабуровым [29,30]. Под рельс укладывается резинометаллическая подкладка, являющаяся податливым слоем. Резинометаллическая подкладка значительно снижает локальные напряжения  $\sigma_y$  и, соответственно, повышает долговечность подкрановой балки.

Существенный недостаток резинометаллических подкладок – их низкая долговечность. Данный недостаток был устранён, в ходе исследований в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства [31]. Результат достигнут тем, что в узле упругого соединения трёхглавого рельса с подкрановой балкой и ниже размещённой симметричной тормозной балкой, между рельсом и подкрановой балкой, предусмотрена демпфирующая подрельсовая подкладка.

Она выполнена из пружинной стали с несколькими продольными гофрами, с плавными по кривой закруглениями и является непрерывной по всей длине рельса. Ширина демпфирующей подрельсовой подкладки на 5...10 % меньше ширины верхнего пояса подкрановой балки, а верхний пояс меньше внутреннего расстояния между боковыми гранями рельса. Фрикционные болты проходят сквозь подошву рельса снаружи верхнего пояса подкрановой балки и сквозь поддерживающие верхний пояс снизу полки швеллеры, при этом они снабжены тарельчатыми пружинными шайбами.

На рис. 12 показан узел упругого соединения трёхглавого рельса с подкрановой и понижено размещённой симметричной тормозной балкой.

Узел содержит трёхглавый крановый рельс 1, с центральной главой, по которой катятся основные безребордные колёса 2 мостового крана и передают вертикальные воздействия  $P$ . Направляющие ролики 3 крана фиксируют основные колёса 2 на трёхглавом рельсе 1, катятся по боковым главам рельса и передают на них горизонтальные силовые воздействия  $T$ . У направляющих роликов 3 имеются аварийные гребни снизу, исключаящие сход колес с рельсов.

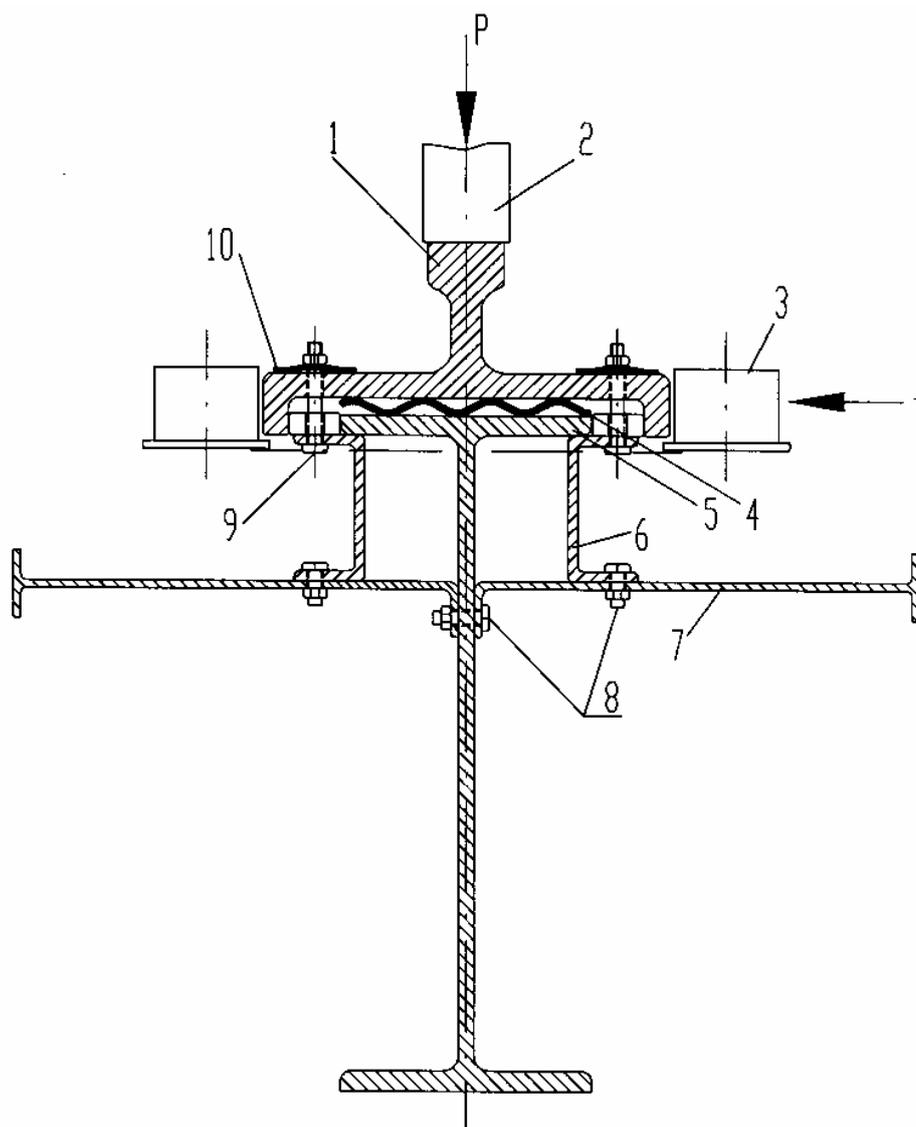


Рис. 12. Узел упругого соединения трёхглавого рельса с подкрановой и пониженно размещённой симметричной тормозной балкой

Под рельсом 1 размещена демпфирующая подрельсовая подкладка 4, из пружинной стали, с несколькими продольными гофрами (5...10 шт.) одинаковой высоты с плавными закруглениями.

Демпфирующая подрельсовая подкладка опирается на верхний пояс 5 двутавровой прокатной балки. Швеллеры 6 соединяют верхний пояс с симметричной тормозной балкой 7. Швеллеры 6 и тормозная балка, также соединены друг с другом посредством фрикционных болтов 8, затянутых с гарантируемым натягом. Симметричные элементы тормозной балки, также соединены друг с другом, через стенку двутавровой прокатной подкрановой балки, посредством фрикционных болтов. Фрикционные болты 9, проходящие сквозь подошву трёхглавого рельса и полку швеллера 6, снабжены пружинными тарельчатыми шайбами 10, выполненными из пружинной стали.

При действии вертикальных силовых воздействий  $P$  от катящихся безребордных колёс крана, рельс упруго оседает под каждым из колёс, сдавливая демпфирующую подрельсовую подкладку. Высота каждого из гофров уменьшается. В зоне контакта с поверхностью подошвы рельса и верхнего пояса возникают распорные силы, гасящиеся за счет сил трения.

Локальное взаимодействие между трёхглавым рельсом и верхним поясом подкрановой балки распределяются на большую длину и тем самым суммарные локальные напряжения  $\sum \sigma_y$  значительно снижаются и этим выносливость повышается. При уходе колёс крана демпфирующая подрельсовая подкладка упруго возвращается в исходное положение.

При горизонтальных воздействиях  $T$  от направляющих роликов 3 горизонтальные усилия передаются за счет сил трения. Если же силы трения будут превышены, то в работу вступает внутренняя поверхность боковой главы рельса с продольной торцевой кромкой верхнего пояса. Далее в работу на изгиб включается симметричная тормозная балка, опирающаяся в горизонтальной плоскости на колонны каркаса цеха.

Эффект достигнут благодаря повышению долговечности демпфирующей подрельсовой подкладки, так как в ней отсутствует быстро изнашивающаяся и стареющая резина, а также удобству обслуживания узла при эксплуатации.

Помимо этого необходимо отметить пониженное расположение тормозной балки. Такие изменения положительно сказываются на работе всей подкрановой балки. Замкнутый контур верхнего пояса во много раз увеличивает момент инерции при кручении, что позволяет легко воспринимать крутящие воздействия от колес кранов.

### 3.3. Узел сопряжения тормозной и подкрановой балки

Узел сопряжения рельса с балкой испытывает опасные циклы подвижных воздействий, генерируемых колёсами кранов, и является наиболее повреждаемым [33].

В настоящее время наиболее распространены рельсовые крепления, описанные в справочнике [34]. Крановые рельсы крепятся посредством планок с подкладками. В подкладках отверстия под болты овальные, а в планках — круглые. С помощью болтов, пропущенных через верхний пояс балки, подкладки и планки прижимают подошвы рельсов к балкам. Рельсовый дуть рихтуют подвижкой рельсов на балках на  $\pm 20$  мм поперёк пути. После рихтовки подкладки и планки приваривают к верхнему поясу монтажной сваркой, что исключает рихтовку.

Недостатки известного решения следующие:

✓ Рельсовые крепления жёсткие неразъёмные, не допускающие рихтовку при эксплуатации.

✓ Низка выносливость и работоспособность креплений из-за отсутствия податливости и высоких значений эффективных коэффициентов концентрации напряжений [35].

✓ Высока трудоёмкость установки креплений и рихтовки рельсов, так как применяется ручная монтажная сварка и ручной труд.

✓ Рельсы устанавливаются с разрешёнными нормами эксцентриситетами  $\pm 20$  мм, способствующими преждевременному разрушению балок от усталости.

Крепления работают следующим образом.

При качении колёс кранов и взаимодействии реборд с головками рельсов возникают горизонтальные подвижные поперечные силы  $T^{loc}$ , генерирующие локальные подвижные крутящие моменты

$$M_{кр}^{loc} = p^{loc} \cdot e \pm T^{loc} \cdot h_p,$$

где  $h_p$  – высота рельса.

Эти переменные моменты  $\pm M$  способствуют повороту рельса вокруг продольной оси, однако этому препятствуют планки креплений. Жёсткость планок велика, поэтому подвижные локальные крутящие моменты  $M_{кр}^{loc}$  воспринимаются и передаются на верхний пояс и стенку балки сосредоточенно.

Соотношение плеч в прижимающей планке невелико, поэтому отрывающее усилие больше, чем сила, прижимающая рельс к балке. Сдвигающие силы  $T^{loc}$  в жёстких креплениях передаются на накладку, приваренную к верхнему поясу. Податливость в узле отсутствует, поэтому сила  $T^{loc}$  передаётся только на одну подкладку локально.

В непосредственной близости от узла крепления рельса находится нахлесточный сварной шов, соединяющий тормозной лист с верхним поясом балки. Выносливость возле этого потолочного шва снижается более чем в четыре раза, что недопустимо.

Усталостные трещины в подрельсовой зоне возникают очень часто, и тормозная балка постепенно отделяется от подкрановой балки. Возникает аварийная ситуация.

При разработке узла сопряжения рельса с балками были сформулированы следующие требования:

✓ Воспринимать локальные подвижные крутящие воздействия, передаваемые колёсами кранов, несколькими упругими креплениями одновременно;

✓ Разработать узлы сопряжения тормозной балки и подкрановой балок с минимальной концентрацией напряжений в них, повысив долговечность в несколько раз;

✓ Компенсировать подвижные циклические воздействия колёс в узлах рессорами–амортизаторами;

✓ Обеспечивать восприятие подвижных локальных крутящих моментов новыми типами упругих креплений;

✓ Разработать рельсовые крепления с автоматическим напряжением;

Теоретические расчеты с учётом податливости креплений, по методике А.А. Уманского [36], показали, что амортизирующие крепления позволяют уменьшить усилия взаимодействия в наиболее нагруженном креплении в несколько раз, включив в работу одновременно несколько близлежащих креплений.

Другими словами, придание креплениям пружинящих амортизирующих свойств позволяет распределить локальные сосредоточенные и крутящие воздействия от движущихся колёс на большую длину балки и тем самым повысить выносливость всей конструкции как креплений, так и балки.

Одновременно пропорционально уменьшаются реактивные усилия в конструкциях мостового крана и, соответственно, повышается их выносливость.

Исходя из сформулированных требований, было разработано несколько типов креплений.

На рис. 13 изображено упругое рельсовое крепление [37]. Рельсовое крепление содержит упругую клемму 1, прижимающую подошву рельса 2 к подрельсовому основанию 3 с помощью домкратного болта 4.

Клемма в зоне контакта с болтом, имеет горизонтально расположенный участок 5, а в зоне между этим участком и рельсом она выполнена выпуклой в вертикальной плоскости и контактирует с верхней боковой частями подошвы рельса.

Свободные концы 6 клемм вводят в отверстия 7 в подрельсовой основе. Горизонтальный участок каждой упругой клеммы отжимается домкратным болтом, им же регулируется сила прижатия клеммы к подошве рельса. После напряжения клеммы каждый болт контрят гайками.

Особенность крепления в том, что упругие клеммы имеют выпуклости верх в зоне между горизонтально расположенным участком и рельсом. Упругие клеммы установлены так, что контактируют с верхней и боковой частями подошвы рельса, сопряжёнными с подошвой. Свободные концы клемм расположены в отверстиях, имеющих в поясе балки, и снабжены упорами.

Уменьшилась трудоёмкость установки и регулировки рельсовых креплений.

Следует отметить, что соотношение плеч в клеммах обеспечивает увеличение упругого прижатия рельса к балке в несколько раз, и это прижатие с течением времени может уменьшиться лишь на 4...5 % из-за истирания.

В случае разрушения одной из клемм замена осуществляется очень просто, так как клемма посредством домкратного болта отжимается от балки.

Внедрение данного изобретения значительно снизит эксплуатационные издержки промышленных предприятий.

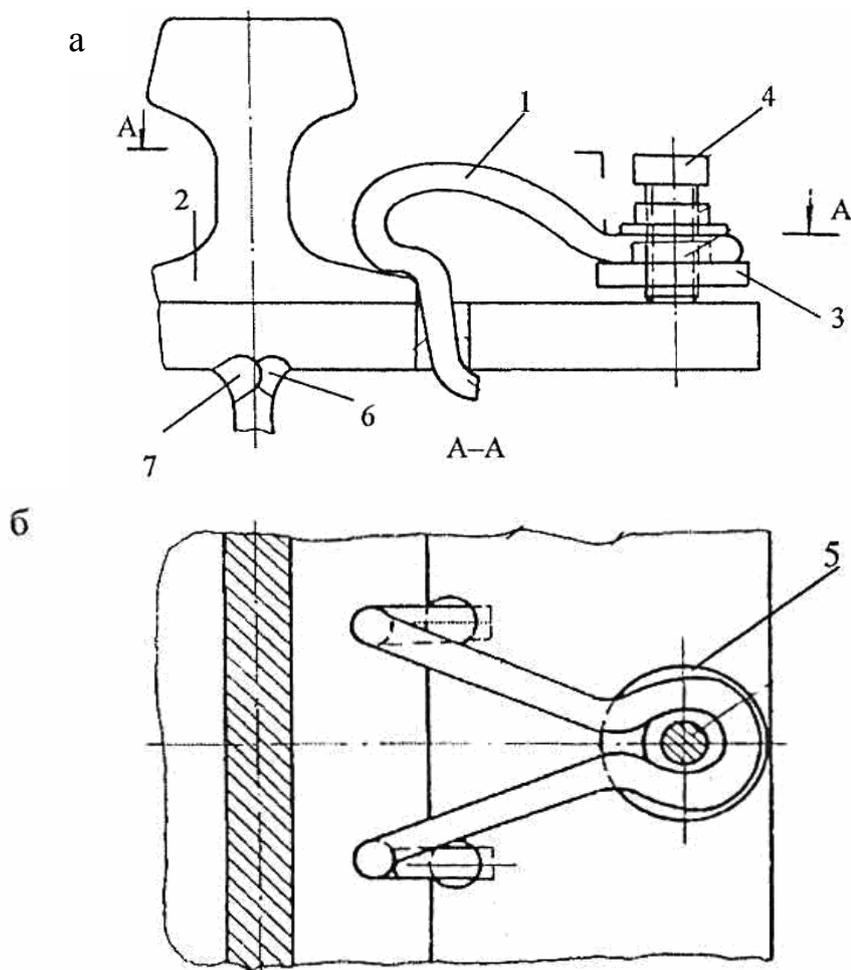


Рис. 13. Упругое рельсовое крепление

### 3.4. Трёхглавый рельсовый блок для подкрановых балок

Крановые рельсы и их крепления – распределяют сосредоточенные силы и моменты по длине балки. Крепления должны быть упругими, амортизирующими и удобными в обслуживании.

Известны рельсобалочные конструкции, разработанные Неждановым К.К. и др., описанные в патентах [38, 39].

Рельсобалочная конструкция содержит подкрановую балку, усиленную продольными рёбрами, симметричными относительно стенки, швеллеры; размещённые между продольными рёбрами и верхним поясом балки по всей её длине и соединённые с продольными рёбрами и верхним поясом балки шпильками, и тормозную балку. Рельсобалочная конструкция содержит рельсовый блок, выполненный из тавра, ориентированного стенкой вверх, и двух рельсов, размещённых симметрично относительно стенки

тавра и соединённых с ним шпильками. Полка тавра рельсового блока и полки швеллеров выступают наружу на 50...100 мм за продольную грань верхнего пояса подкрановой балки, причём полка тавра соединена с соответствующими полками швеллеров шпильками, проходящим рядом с полкой верхнего пояса снаружи [40].

Рельсовый блок выполнен из тавра, ориентированного стенкой вверх, и двух рельсов, размещённых симметрично относительно стенки тавра. Подошва каждого из рельсов со стороны стенки тавра срезана заподлицо с боковой поверхностью головки рельса, опирается на полку тавра, а шейки рельсов соединены друг с другом и тавром полыми заклёпками с внедряемыми сердечниками, пропущенными сквозь шейки рельсов и стенку тавра, объединяя рельсы и тавр в единый рельсовый блок.

Недостаток данного технического решения – необходимость сверления отверстий в шейках рельсов и срезки части рельсов.

Известно техническое решение, описанное в патенте «Узел соединения арочного рельса с трубчатым поясом подкраново-подстропильной балки» [41]. Конструкция имеет несимметричный профиль и предназначена для трубчатого пояса подкраново-подстропильной балки. Узел снабжён подрельсовой подкладкой. Подкладка выполнена непрерывной с подошвами, копирующими поверхность трубчатого пояса балки, и с центральным продольным гребнем, копирующим полость арочного рельса, для фиксации последнего. Сбоку на главе арочного рельса имеется непрерывный гребень для взаимодействия с направляющими роликами мостового крана, что позволяет исключить сход крана с рельсов. Узел снабжён также клеммами для фиксации арочного рельса на этой подкладке и опорным столиком для взаимодействия с нижним торцом этой подкладки, с упомянутым трубчатым поясом.

Недостатком данного технического решения является то, что упругие клеммы не включены в работу сечения рельсового блока.

Для автоматизации процесса монтажа новых рельсов и демонтажа старых изношенных рельсов используются технические решения, разработанные Неждановым К.К. и др.

Известные решения «Способ замены кранового рельса» [42], «Автоматическое устройство для захвата и продольного перемещения кранового рельса» [43], «Устройство для регулирования напряжений рельсовых креплений» [44] приведены в авторских свидетельствах

Технический результат разработки – автоматизация процесса монтажа новых рельсов и демонтажа старых изношенных рельсов. Автоматизация сборки и разборки трёхглавого рельсового блока повышает ремонтпригодность. Ударные воздействия колёс транспортных средств на стыках минимизируются.

Технический результат реализован следующим образом. Трёхглавый рельсовый блок, содержащий главный рельс, ориентирован вертикально и опирающийся по всей длине на непрерывную подрельсовую подкладку с двумя Г-образными гребнями, нависающими над подошвой главного рельса, и пару боковых рельсов, ориентированных горизонтально головами наружу и рельсовые клеммы.

Преимущество предложения в том, что к подрельсовой подкладке симметрично относительно главного рельса сверху неподвижно присоединена пара швеллеров-фиксаторов, ориентированных полками вверх, снизу неподвижно присоединена пара поддерживающих швеллеров, ориентированных полками наружу.

Элементы рельсового блока объединены в монолитное целое сжимающими его силами от Г-образных клемм с гарантированным натягом. Проскальзывание элементов друг относительно друга исключено.

На рис.14 показан трёхглавый рельсовый блок в разрезе (до предварительного напряжения.)

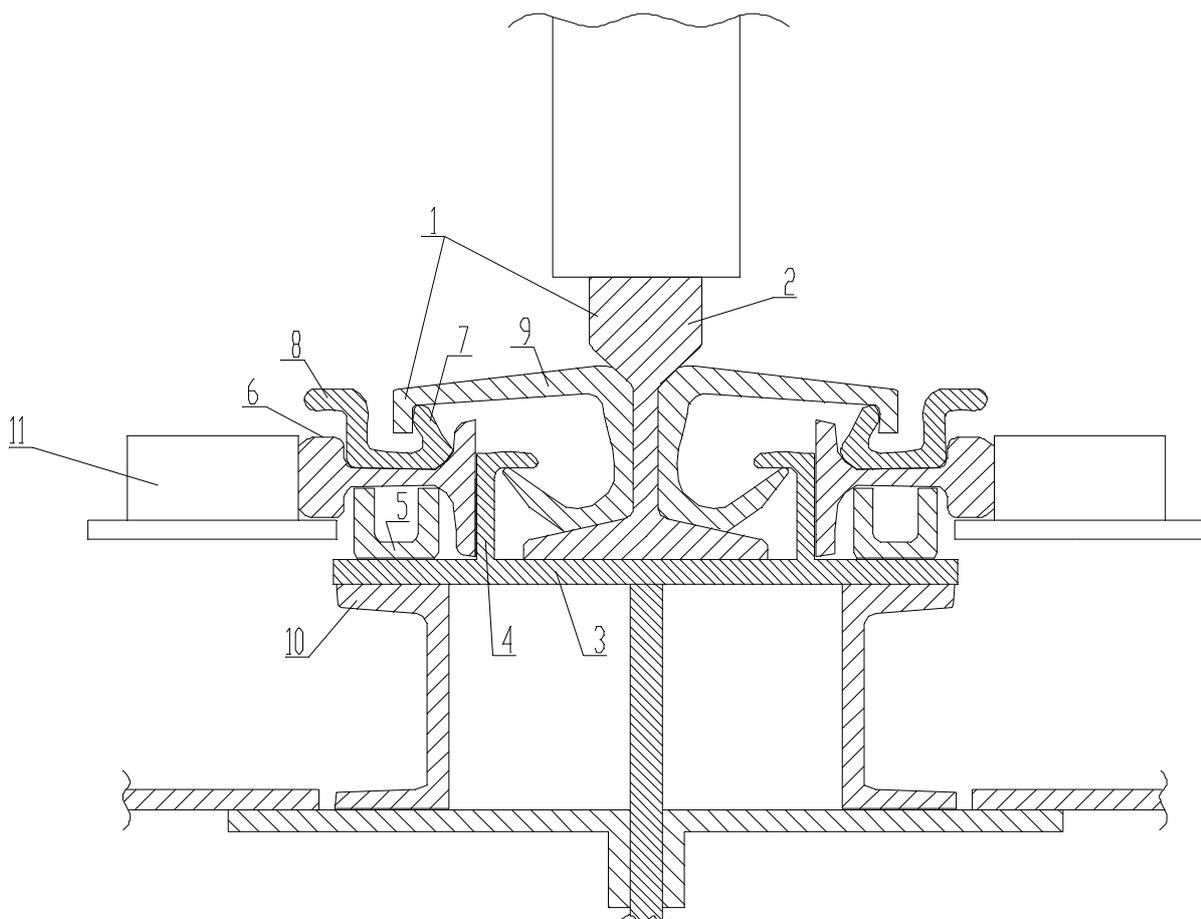


Рис. 14. Трёхглавый рельсовый блок:

- 1 – трёхглавый рельсовый блок; 2 – главный рельс; 3 – подрельсовая подкладка;  
 4 – Г-образный гребень; 5 – швеллер-фиксатор; 6 – боковой рельс; 7, 8 – эксцентрик  
 с Z-образной ручкой; 9 – Г-образная клемма; 10 – поддерживающий швеллер;  
 11 – направляющий ролик

Трёхглавый рельсовый блок 1 содержит главный 2 рельс, ориентированный вертикально и опирающийся по всей длине на непрерывную подрельсовую подкладку 3, выполненную прокатом и симметричную относительно главного рельса. Она снабжена парой Г-образных гребней 4 с направленными навстречу друг другу и нависающими над подошвой главного рельса выступами. Главный рельс западает своей подошвой между Г-образными гребнями подрельсовой подкладки.

К подрельсовой подкладке сверху неподвижно присоединена пара швеллеров-фиксаторов, ориентированных полками вверх. Швеллеры-фиксаторы 5 предназначены для фиксации пары боковых 6 рельсов ориентированных горизонтально головками наружу. Каждый боковой рельс, опирается сбоку подошвой на Г-образный гребень 4. Каждый их пары швеллеров-фиксаторов западает полками в просвет между головкой и подошвой бокового рельса и фиксирует боковой рельс в плане и по высоте.

Каждый из пары боковых рельсов западает подошвой в щель между Г-образными гребнями 4 и швеллерами-фиксаторами.

Пара эксцентриков 7 с Z-образными ручками 8 западают под нависающие длинные плечи Г-образных клемм 9. Z-образные ручки выступают вверх. Пара Г-образных клемм введена в просвет между Г-образными гребнями подрельсовой подкладки и шейкой главного рельса, плотно охватывают шейку с двух сторон. Короткое плечо каждой из Г-образных клемм западает под нависающие Г-образные гребни подрельсовой подкладки, а длинные плечи Г-образных клемм 7 нависают над парой боковых рельсов.

При взаимодействии с Z-образных ручек двух эксцентриков с клином автоматического натягающего устройства, подвешенного впереди транспортного средства, движущегося по трёхглавым рельсовым блокам 1, эксцентрики взаимодействуют с Г-образными клеммами и автоматически натягают и запирают замковое устройство, образуя монолитный трёхглавый рельсовый блок. Пара Г-образных клемм, два боковых рельса, подпирающих главный рельс с двух сторон, эксцентрики и швеллеры-фиксаторы образуют арку.

К подрельсовой подкладке снизу неподвижно присоединена пара поддерживающих швеллеров, ориентированных полками наружу.

Пару Г-образных клемм вдвигают с торца под Г-образные гребни. Г-образные клеммы плотно контактируют в напряжённом состоянии выступами гребней снаружи и сверху, а выпуклой частью с наклонной шейкой главного рельса. Каждая Г-образная клемма имеет длинное плечо, заканчивающееся на конце выступом вниз.

В зазор между длинным плечом, нависающим над шейкой бокового рельса, с торца введён эксцентрик с Z-образной ручкой, взаимодействующей с автоматическим натягающим устройством, навешиваемым на транспортное средство.

Г-образную клемму предпочтительнее выполнять прокатом на прокатном стане и делать такой же длины как длина рельса. Длину же рельсов следует увеличить до 500...800 м и перевозить их с завода изготовителя так же, как возят сварные плети рельсов [45].

Принудительный силовой поворот Z-образных ручек 8 эксцентриков осуществляют автоматическим натягающим устройством, навешиваемым перед транспортным средством. Устройство сделано подобно известному «Автоматическому устройству для натяжения рельсовых креплений» [44]. Силовым поворотом выступающие вверх Z-образные ручки эксцентриков осаживают вниз до упора и контакта с шейками боковых рельсов.

В свою очередь длинные плечи Г-образных клемм приподнимаются вверх, выпуклые участки их входят в плотный контакт с шейкой главного рельса, охватывая её, а короткие плечи Г-образных клемм упираются в Г-образные гребни изнутри и снизу. Подошва главного рельса плотно прижимается к подрельсовой подкладке сверху.

Каждый из эксцентриков 9 зафиксирован в углублении между главой и подошвой бокового рельса 6. Самопроизвольно эксцентрик 7 повернуться, не может, так как создан крутящий момент, удерживающий эксцентрик 7 в запёртом состоянии.

Все элементы трёхглавого рельсового блока плотно сомкнулись друг с другом и стали работать слитно как единое целое.

Рельсовый блок обжат Г-образными клеммами 9 с гарантированным натягом, что исключает продольное смещение его элементов относительно друг друга. Следовательно, произошло замковое соединение рельсов и подрельсовой подкладки в единый блок.

Такое соединение рельсов с подрельсовой подкладкой работает за счёт сил трения, возникающих между контактирующими поверхностями, и является фрикционным [46].

Быстроразъёмность соединения обеспечивает дополнительный эффект, так как резко снижает трудоёмкость замены рельсов при их износе.

Эксцентрики 9 прокатывают на прокатном стане и затем нарезают мерной длины по 5000...6000 мм.

Направляющие ролики 11 фиксируют транспортное средство и основные его безребордные колёса 12 на трёхглавом рельсовом блоке и передают горизонтальные воздействия  $T$  от колёс транспортного средства. Гребни безопасности 13 направляющих роликов исключают сход транспортного средства с рельсов. При нормальной работе гребни безопасности не касаются глав боковых рельсов, и включаются в работу только в аварийной ситуации.

Основные колёса 14 транспортного средства выполнены без реборд и передают на рельсовый блок только вертикальные воздействия  $P$ .

Подрельсовая подкладка 5 соединена с конструкцией, лежащей ниже посредством поддерживающих швеллеров 10. Нижележащей конструкцией является или подкрановая балка или главная балка моста.

Торцы всех стыкуемых элементов фрезерованы, причём максимальное повышение прочности стыка рельсового блока достигнуто относительным смещением стыков его элементов, а именно: рельсов, подрельсовых подкладок, Г-образных клемм 9 и эксцентриков 7. Таким образом, достигнута максимальная равнопрочность и непрерывность рельсового пути.

Замковое соединение рельсов в монолитный блок осуществляется автоматически.

После вдвиги в подрельсовую подкладку всех элементов рельсового блока [42, 43, 44], осуществляют замковое соединение рельсов в блок. Для этого перед транспортным средством навешивают автоматическое натягающее устройство. Натягающим устройством является клин, скользящий по Z-образным ручкам пары эксцентриков 7 осаживающих их вниз до упора [44].

При этом два симметричных относительно рельсового блока эксцентрика упруго деформируются по спирали, один по правой спирали, другой по левой.

Усилие запираения, создаваемое транспортным средством, увеличивается в два три раза эксцентриком 7. Затем следующее увеличение силы обжатия в четыре, пять раз, происходит за счёт Г-образных клемм 9.

Окончательное объединение рельса и подрельсовой подкладки в единое целое осуществляют увеличением сил – по сравнению с первоначальной величиной, – в 8...15 раз.

Происходит автоматическое замковое соединение рельсов в блок. Такое соединение является фрикционным, так как сдвиги одного элемента относительно другого исключены благодаря силам трения, возникающим в контактных зонах между элементами рельсового блока.

Следует отметить особенность замкового соединения рельсов. Запираение рельсового блока производится локомотивом при продольном его движении, поэтому сила запираения может достигать нескольких тонн (400...500 гН), и тогда вручную рельсовый блок отпереть практически невозможно, что повышает надёжность конструкции.

### **Работа и сборка рельсового блока**

Замковое соединение рельсов в блок и его предварительное натяжение автоматизировано. Рельсы вдвигают в подрельсовую подкладку известным способом с торца. Рельсы следует поставлять с прокатного завода более длинными, чем сейчас, и не резать их на куски по 25 м. Рельсовая плеть должна быть длиной 500...800 м, то есть такой же длины, как сварные рельсовые плети [45]. Такие плети транспортируют на составе, со-

стоящем из 79 двухосных платформ. К месту укладки рельсовые плети транспортируют со скоростью не выше 70 км/ч. При движении по кривым радиусом 480 м и более скорость следования состава следует снижать до 50 км/ч. Г-образные клеммы 9 и эксцентрики 15 вдвигают в рельсовый трёхглавый блок также с торца [42].

Существенными отличиями предлагаемого трёхглавого рельсового блока являются:

- ✓ высокая устойчивость (боковые рельсы образуют симметричную пару относительно главного рельса);
- ✓ повышение ремонтпригодности пути (процессы замены изношенных рельсов автоматизированы);
- ✓ создание амортизирующего эффекта.

Стандартные боковые рельсы вместе с Г-образными клеммами и эксцентриками в сборке работают как арка, а распор воспринимает подрельсовая подкладка. Силы распора и трения в зонах контактов элементов трёхглавого рельсового блока обеспечивают слитную их работу без проскальзывания как единого целого, приводит к:

- ✓ значительное увеличение моментов инерции и сопротивления (подрельсовая подкладка и Г-образные клеммы работают в составе сечения всего трёхглавого рельсового блока);
- ✓ снижение динамических нагрузок (стыки рельсов, подрельсовых подкладок и Г-образных клемм смещены друг относительно друга, и это позволило минимизировать удары колёс на стыках);
- ✓ исключение схода с рельсов мостового крана (высокая надёжность зажатия элементов трёхглавого рельсового блока).

Использование созданного трёхглавого блока приводит к существенному экономическому эффекту. В настоящее время ведётся работа по внедрению данного изобретения в производство.

### 3.5. Рельсобалочная конструкция с двумя арочными трёхглавыми рельсами

Очевидно, что замкнутые трубчатые профили гораздо более эффективны по сравнению с открытыми профилями. Большой эффект виден при работе конструкции на кручение. Момент инерции на кручение у конструкций с замкнутым профилем в 1550 раз превосходит аналогичные с открытым профилем. Материалоёмкость новых конструкций составляет 15–20 %, поэтому далее рассмотрена рельсобалочная конструкция, выполненная в виде замкнутого трубчатого профиля.

В настоящее время при расчете подкрановых конструкций отдельно рассчитывают рельс и подкрановую балку из-за того, что сложно исключить сдвиги рельса по отношению к балке, хотя упругим это крепление назвать нельзя.

Предлагаемый рельс и подкрановая балка представляют собой соединение, исключая сдвиги, и объединяющее рельс и подкрановую балку в единое целое, что даёт значительное увеличение момента сопротивления  $W_x$ , а следовательно, и экономию материала.

Известна низкая долговечность и ремонтпригодность традиционных подкрановых балок [20]. Усталостные трещины в них концентрируются в подрельсовой зоне, подверженной динамическим подвижным сосредоточенным силам, передаваемым от колёс крана.

Основой разработанной рельсобалочной конструкции являются два арочных трёхглавых полых в сечении рельсов [45], размещённых центральными главами вверх и вниз. Причём их пяты соединены друг с другом без сдвигов шпильками с гарантированным натягом посредством симметричных швеллеров, ориентированных полками и выпуклой стенкой наружу, при этом в стыке между пятами рельсов и полками швеллеров размещены листовые затяжки, воспринимающие распор. В целом рельсы и швеллеры образуют замкнутый пространственный контур, разделённый листовыми затяжками на три отсека.

При износе верхнего рельса конструкция переворачивается нижним рельсом вверх и интенсивная эксплуатация продолжается.

Конструкция в целом представляет собой трубчатое сечение, очерченное по параболе или эллипсу, причём больший диаметр ориентирован вертикально, а меньший – горизонтально. Эффективные арочные полые рельсы, выполненные из износостойкой рельсовой стали, размещены сверху и снизу сечения, то есть в наиболее напряжённых зонах при изгибе в вертикальной плоскости всего сечения и одновременно выполняют функции поясов, образуя двухстенчатую балку. Для соединения используются шпильки с гарантированным натягом, исключая сдвиги (рис. 15).

Локальные воздействия колёс кранов вертикальные  $P$  и горизонтальные  $T$  воспринимаются соответствующими главами рельса и равномерно распределяются им на всё сечение. Локальные напряжения, возникающие в соединениях, малы по величине и не могут вызвать появление усталостных трещин. Ремонт конструкции выполняется простым переворачиванием её нижним рельсом вверх.

Рельсобалочная конструкция состоит из трёхглавых арочных в сечении полых рельсов 1, верхнего и нижнего.

Каждый из рельсов имеет центральную главу « $a$ », воспринимающую вертикальную силу  $P$  от основных колёс 2 крана, и две боковые главы « $b$ », воспринимающие горизонтальные силы  $T$  от направляющих роликов 3 крана. Центральная глава « $a$ » размещена в замке арки « $c$ ». Ветви арки опираются на пяты « $d$ » и соединены затяжкой « $e$ » из листа по всей длине рельса, образуя замкнутое сечение, отлично работающее на кручение.

Пяты «*d*» верхнего и нижнего рельсов соединены друг с другом посредством швеллеров 4 с выпуклой стенкой, причём полки «*f*» швеллеров 4 и выпуклость стенки ориентированы наружу. Пяты «*d*» рельсов 1 и полки «*f*» швеллеров 4 соединены шпильками 5. Выпуклые стенки швеллеров соединены друг с другом кольцевыми элементами 6 на опорах балок и в их пролётах.

Овальные отверстия в пятах рельсов и в тормозной балке прошиваются при прокатке с определённым шагом и ориентированы вдоль. Кривизна поверхностям стенок придаётся на листогибочном или вальцовочном станке и значительно повышает устойчивость её. Вся конструкция соединена в единое целое посредством, например, полых заклёпок с сердечником.

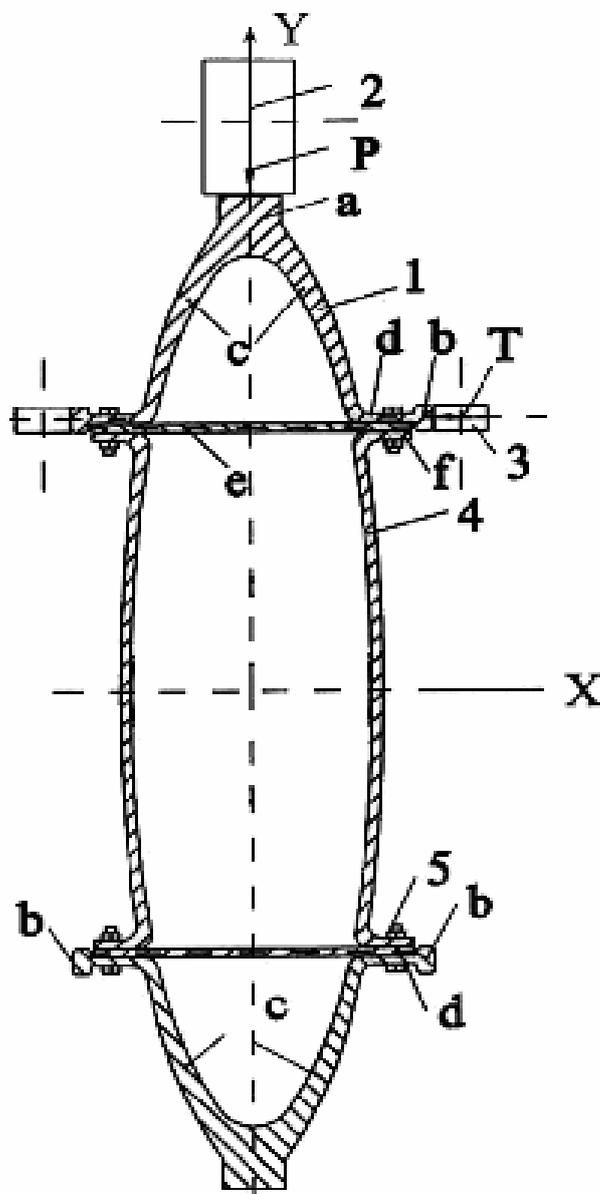


Рис. 15. Рельсобалочная конструкция:  
 1 – арочный рельс; 2 – основные колёса крана; 3 – направляющие ролики крана;  
 4 – стенка; 5 – фрикционные шпильки; кольцевой элемент

Вертикальная сила  $P$  передается по вертикальной оси симметрии. Горизонтальная сила  $T$  от направляющих роликов крана – на одну из глав « $b$ » тормозной балки « $e$ ». Конструкция в целом представляет собой замкнутый трубчатый контур параболического очертания. Концентрация напряжений в узлах и сопряжений минимальна, то есть около единицы. Конструкция обладает амортизирующими свойствами за счёт кривизны поверхности, поэтому все динамические воздействия сглаживаются. Тормозная балка « $e$ » является одновременно затяжкой воспринимающей распор от арочного рельса 1.

Предполагается резкое повышение долговечности, так как динамическая составляющая напряжений опускается ниже предела выносливости, и усталостные трещины в рельсоподкрановой конструкции не должны появиться. Локальные напряжения в стенке, возникающие при кручении, близки к нулю, а локальные напряжения при центральной сжатии уменьшены в несколько раз. То есть созданы условия благоприятной работы конструкции в зоне так называемой «неограниченной долговечности».

Увеличена её ремонтпригодность минимум в два раза, так как после износа верхнего рельса конструкция переворачивается нижним рельсом вверх и интенсивная эксплуатация продолжается.

### 3.6. Рельсобалочный блок конструкций для параллельных рельсовых путей

Рассмотрим рельсобалочную конструкцию с трубчатой эллиптической в сечении подкрановой балкой, ориентированной большой осью вертикально, причём сверху и снизу эллиптического сечения установлены трёхглавые рельсы, копирующие своей подошвой верхний и нижний участки подкрановой балки и соединенные с ней полыми заклёпками с внедрённым в каждую сердечником, а сечение рельсобалочной конструкции сбалансировано [48].

Примем известное решение за аналог. Аналог имеет неоспоримые преимущества по сравнению с обычной сварной двутавровой подкрановой балкой, переводя работу подкрановой конструкции в так называемую зону «неограниченной выносливости».

Известно также эффективное техническое решение, объединяющее параллельные подкрановые балки в единое целое [49], позволяющее получить дополнительное снижение материалоемкости.

Тем не менее объединение двух параллельных рельсобалочных конструкций в симметричную единую пару неизвестно.

Технический результат – повышение долговечности двух параллельных рельсобалочной конструкции вплоть до так называемой зоны

«неограниченной долговечности» с одновременным снижением материалоемкости до 20...25 %.

Технический результат достигнут тем, что рельсобалочная конструкция содержит подкрановую балку эллиптического профиля, трёхглавые рельсы арочного профиля сверху и снизу сечения, копирующие своей подошвой эллиптический профиль её сечения. Арочные трёхглавые рельсы соединены с подкрановой балкой посредством заклёпок с замыкающим сердечником в каждой.

Две параллельные друг другу рельсобалочные конструкции объединены в симметричную единую пару рельсобалочных конструкций посредством тормозных листов с продольными гофрами, размещённых сверху и снизу эллиптического сечения и соединённых с подкрановыми балками эллиптического профиля фрикционными соединениями, затянутыми с гарантированным натягом.

На рис. 16 показано сечение рельсобалочного блока, на рис. 17 – вид сбоку, на рис. 18 – узел, на рис. 19 – полая заклёпка с внедрённым сердечником.

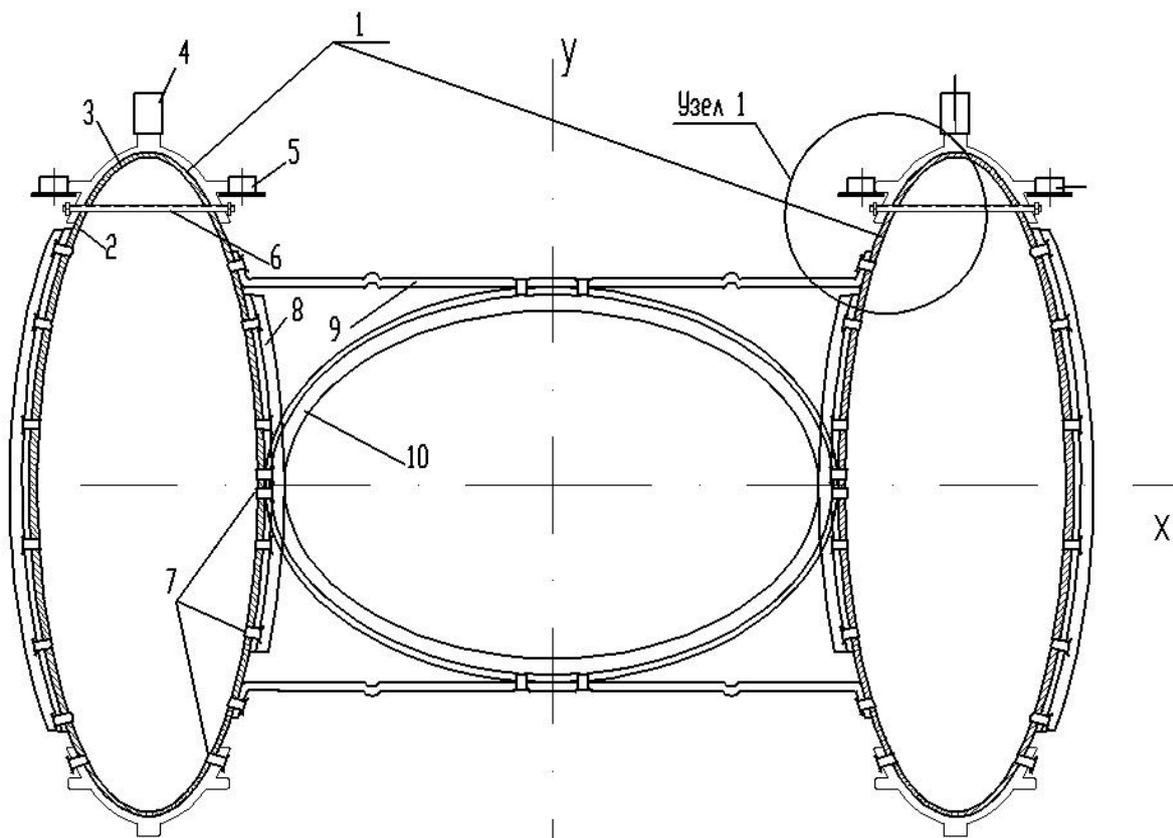


Рис. 16. Сечение рельсобалочного блока

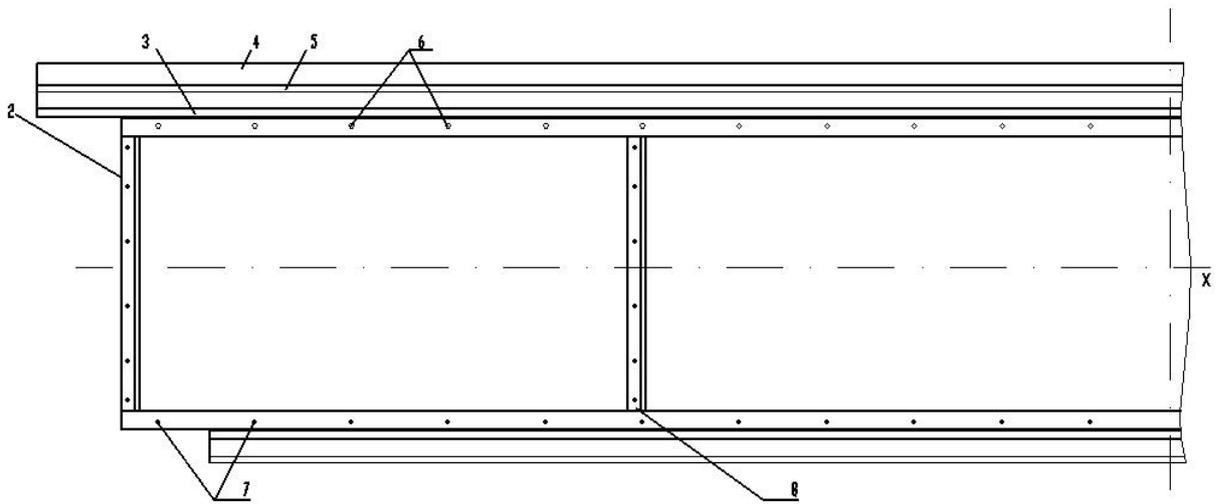


Рис. 17. Сечение рельсобалочного блока(вид сбоку)

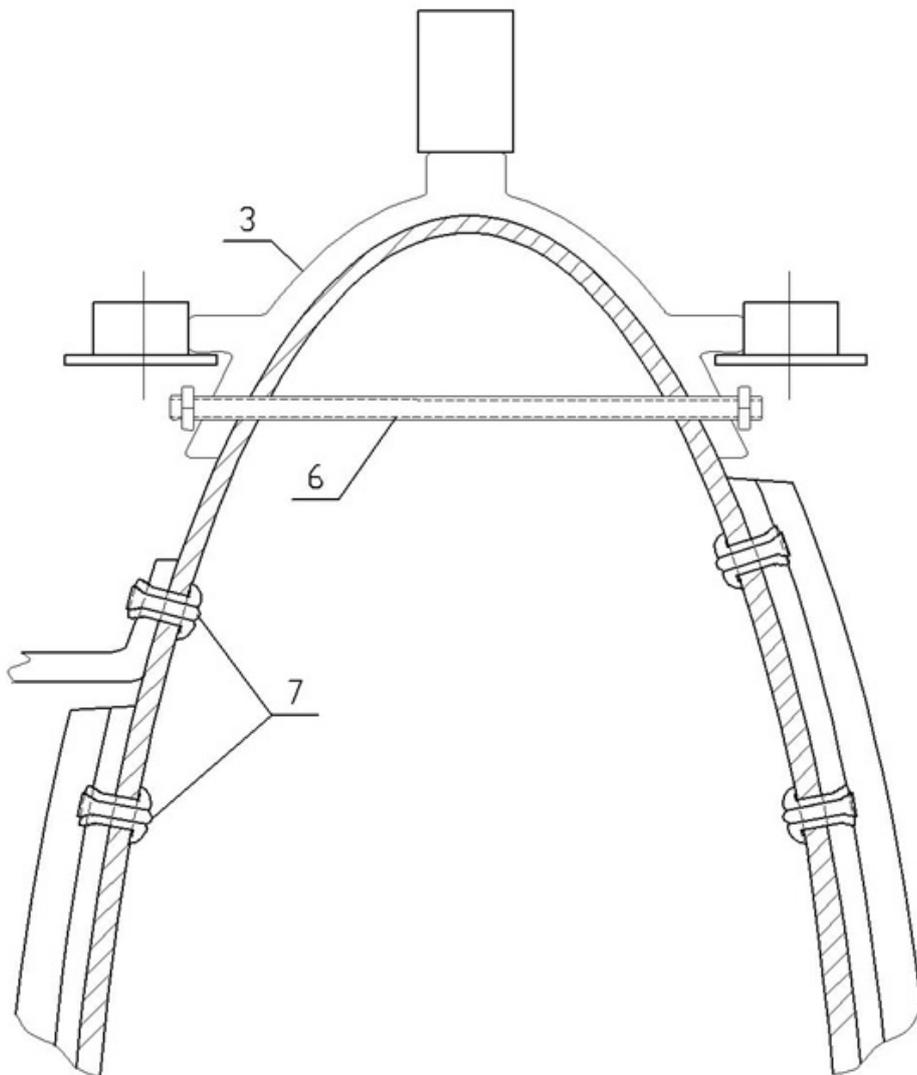


Рис. 18. Узел соединения

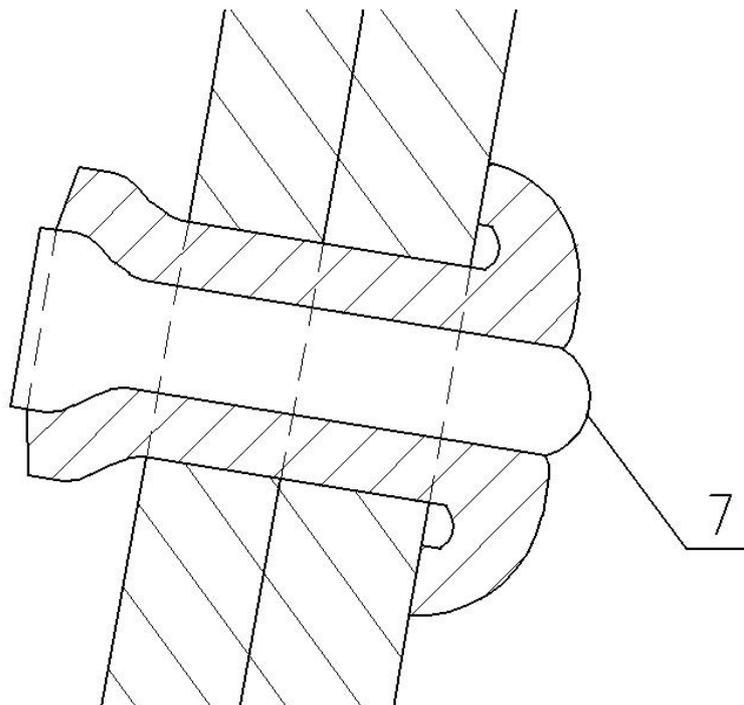


Рис. 19. Полая заклёпка с внедрённым сердечником

Рельсобалочный блок конструкций содержит две идентичные рельсобалочные конструкции 1, симметричные относительно оси  $Y$ .

Каждая из рельсобалочных конструкций 1 состоит из подкрановой балки 2 эллиптического профиля с отношением осей [48]:

$$\frac{D}{d} = 3,$$

где  $D$  – максимальная ось эллиптической трубы по средней её линии, проходящей по середине толщины стенки  $t_{ст}$ ;

$d$  – её минимальная ось.

На подкрановой балке 2 седловидно размещены сверху и снизу арочные трёхглавые рельсы 3. На центральную главу рельса передаются циклические воздействия  $P$  от основных колёс 4 крана, а на одну из боковых глав передаются горизонтальные силы  $T$  от направляющих роликов 5 крана (транспортного средства).

Арочные трёхглавые рельсы находятся в самых напряжённых зонах эллиптического сечения при изгибе подкрановой балки 2 в вертикальной плоскости. Эти рельсы соединены с подкрановой балкой 1 посредством шпилек-затяжек 6. Шпильки-затяжки затянуты с гарантированным натягом и дополнительно напрягаются при нахождении каждого из колёс над шпилькой-затяжкой. В зоне контакта трёхглавого арочного рельса 3 с подкрановой балкой развиваются силы трения, удерживающие упомянутый рельс от проскальзывания по подкрановой балке.

Нижний трёхглавый арочный рельс соединён с подкрановой балкой посредством заклепок 7 с замыкающим сердечником в каждой [50]. Боковые стенки подкрановой балки 2 укреплены рёбрами из уголка 8 или тавра копирующими боковую поверхность подкрановой балки 2. Рёбра 8 установлены на опорах и в  $\frac{1}{3} \dots \frac{1}{4}$  пролёта балки.

Два параллельных рельсобалочных блока конструкции 1 соединены в единый рельсобалочный блок посредством тормозных листов 9 с продольными гофрами. Тормозные листы 9 соединены с подкрановой балкой 2 посредством заклепок с замыкающим сердечником в каждой. Полые заклёпки с внедрённым в каждую сердечником ставятся автоматизированно с использованием пиротехнической установки. На опорах подкрановые балки 2 и в  $\frac{1}{3} \dots \frac{1}{4}$  пролёта соединены друг с другом упругими кольцами 10 из тавров или уголков, укрепляющими тормозные листы 9. Пара рельсобалочных конструкций симметрична и сбалансирована относительно осей  $X$  и  $Y$ .

### **Работа рельсобалочного блока конструкций**

Наиболее неблагоприятным является одновременное нагружение параллельной пары симметричных рельсобалочных конструкций четырьмя мостовыми кранами. В соответствии с действующими нормами, учитывается коэффициент сочетаний, равный для интенсивного тяжёлого режима работы  $\psi = 0,8$ , а для остальных кранов  $\psi = 0,7$ . Следовательно, объединение конструкций позволяет экономить от 20 до 30 % металла.

Несимметричное (одностороннее) нагружение новой конструкции не опасно, так как момент инерции при кручении рельсобалочного блока велик (примерно в 1880 раз больше, чем, например, у обычного двутавра). Поэтому приложение 50 % нагрузки (от двух кранов) с эксцентриситетом для новой конструкции не ощутимо.

Сопоставление новой конструкции с аналогом показывает следующие существенные отличия:

- ✓ образован единый пространственный рельсобалочный блок конструкций, состоящий из двух рельсовых конструкций, эллиптических в сечении, соединённых непрерывными тормозными листами с продольными гофрами;
- ✓ соединения выполнены посредством заклепок с замыкающим сердечником в каждой;
- ✓ рельсобалочный блок имеет три непрерывных замкнутых отсека, имеющих момент инерции при кручении в 1500...1800 раз больше чем, на-

пример, у обычного двутавра, поэтому крутящие воздействия при одностороннем нагружении рельсобалочного блока не опасны и расчётным является симметричное нагружение его.

Экономический эффект достигнут из-за следующего:

✓ уменьшена материалоёмкость пары рельсобалочных конструкций на 20...30 % по сравнению с материалоёмкостью единичной рельсобалочной конструкции;

✓ работа пары рельсобалочных конструкций переведена в зону так называемой «неограниченной долговечности» и появление усталостных трещин в качественном материале подкрановых балок без дефектов и повреждений невозможно в течение всего срока эксплуатации.

### Расчёт рельсобалочной конструкции

#### 1. Исходные данные

Сначала выполним расчёт одной двутавровой подкрановой балки не связанной с параллельной подкрановой балкой в единое целое.

Требуется рассчитать двутавровую подкрановую балку пролётом 12 м под два крана режима работы 8К грузоподъёмностью 500/100/20 т. Материал конструкции – сталь 255 ГОСТ 27772–88 (В Ст3 сп5).

Пролёт крана 27 м, наибольшее нормативное давление каждого из колёс крана  $P_n = 9100$  гН, масса крана по ГОСТ 20278-81  $G=620$  т. Крановый рельс типа КР140 ГОСТ 4121–62. Масса главной тележки крана 210 т, вспомогательной тележки – 40 т.

Формула колёс крана:

Расчётные силы, передающиеся на рельсобалочную конструкцию от каждого из колёс крана (табл. 1). Нормативную величину тормозной силы, передающуюся на рельс от каждого из колёс крана, принимаем по строительным правилам равной 0,2 величины вертикальной силы

[ СП ]:

$$T_n = 0,2 \cdot P_n = 0,2 \cdot 9100 = 1820 \text{ гН}$$

Коэффициент, учитывающий массу рельсобалочного блока и ремонтных грузов, примем 1,05, то есть учтём увеличением нагрузки на 5 % (табл. 10).

Т а б л и ц а 1 0

Сосредоточенные силы, передающиеся на балку правка10984, 951

Направление силы	Нормативная	Коэффициенты				Расчётная, гН
		Надёжности	Динамичности	Сочетаний	Массы, $m$	
↓ $P$	9100	1,2	1,2	1	1,05	13759,2
↔ $T$	1820	1,2	1,2	1	–	2489,8

Коэффициент сочетаний назначаем равным *единице*, так как неблагоприятно нагружение одним краном, а не двумя.

Подкрановые балки выполнены из стали С255 ГОСТ 27772–88 (ВСтЗ сп5) с расчётными сопротивлениями:

– при изгибе  $R_y = 230$  МПа,

– при срезе  $R_{cp} = 0,58 R_y = 0,58 \cdot 230 = 133,4$  МПа.

Коэффициент условий работы  $\gamma = 0,9$ .

Модуль упругости  $E = 206000$  МПа.

Допустимый относительный прогиб  $1/n_0 = 1/600$ .

### Определяем *тах* изгибающий момент $M_{\max}$ и поперечную силу $Q$ в подкрановой балке

Положение кранов на рельсобалочном блоке конструкции для определения максимального изгибающего момента находится по следующему правилу.

Сначала определяется число колёс от двух сближенных кранов, помещающихся в одном пролёте. Выполнением рисунка в масштабе, устанавливаем, что на рельсобалочном блоке длиной 12 м помещается максимум восемь колёс (либо четыре от одного крана и четыре колёса от второго крана, либо восемь колёс от одного крана).

Наиболее сближенные колёса, а следовательно, и наибольшее воздействие сил на балку приходится от одного крана, отсюда следует, что для определения максимального изгибающего момента в данном случае необходимо учитывать воздействие на балку одного крана и коэффициент сочетания будет равен *единице*.

Находим место приложения равнодействующей силы  $R = \Sigma P$  (центр тяжести) от колёс крана, находящихся на балке длиной  $l = 12$  м, взяв сумму статических моментов относительно удобной точки. Центр тяжести находится на расстоянии 5,357 м от точки «0». Сила, ближайшая к равнодействующей  $R$ , – *критическая*, находится на расстоянии  $a = 0,228$  м от центра тяжести.

Равнодействующую и критическую силы расположим симметрично относительно середины пролёта рельсобалочной конструкции, тогда опорные реакции от единичных сил  $P = 1$  будут равны:

$$R_A = \frac{(6 - 1,14) \cdot 8 \cdot 1}{12} = \frac{5,886 \cdot 8}{12} = 3,924;$$

$$R_B = \frac{(6 + 1,14) \cdot 8 \cdot 1}{12} = \frac{6,114 \cdot 8}{12} = 4,076;$$

$$R_A + R_B = 8.$$

Фактические:  $R_{\text{лев}} = 3,924 \cdot 13759,2 = 53991,1$ ;

$$Q_{\text{max}} = R_{\text{пр}} = 4,076 \cdot 13759,2 = 56082,5 \text{ гН}.$$

Максимальный изгибающий момент под критической силой в каждой из подкрановых балок рельсобалочного блока (единичный):

$$M_{\text{max}}^{\text{един}} = 3,924 \cdot 5,886 - 1 \cdot (5,81 + 4,155 + 1,655) = 11,47.$$

Фактический:  $M_{\text{max}} = 13759,2 \cdot 11,47(6) = 157909,7 \text{ гН} \cdot \text{м} = 15790970 \text{ гН} \cdot \text{см}$ .

Максимальная поперечная сила на опоре определяется по линии влияния. Наиболее сближенные колёса расположим около опоры, при этом одно колесо должно находиться строго над опорой.

При таком условии на рельсобалочном блоке конструкции размещается восемь колёс от крана на каждой из подкрановых балок. Максимальная поперечная сила равна опорной реакции балки над опорой:

$$Q_{\text{max}} = R_A;$$

$$R_A \cdot 12 - P(1,310 - 2,260 - 3,915 - 6,415 - 8,070 - 9,020 - 11,050 - 12) = 0;$$

$$R_A = 1156,6(1,31 + 2,26 + 3,915 + 6,415 + 8,07 + 9,02 + 11,05 + 12)/12 = 52065,7 \text{ гН}.$$

Нормативное значение изгибающего момента в вертикальной плоскости в каждой из двух балок:

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{P} \cdot M_{\text{max}} = \frac{9100}{11561,6} \cdot 122439,4 = 96370,6 \text{ гН} \cdot \text{м}.$$

Расчётный изгибающий момент от сил поперечного торможения в одной балке:

$$M_{\text{т}} = \frac{T}{P} \cdot M_{\text{max}} = \frac{2489,8}{11561,6} \cdot 122439,4 = 26367,4 \text{ гН} \cdot \text{м}.$$

Требуемый момент сопротивления рельсобалочной конструкции из условия прочности на изгиб определяется по формуле

$$W_{\text{х тр}} = \frac{M}{\gamma \cdot R_y} = \frac{M}{0,9 \cdot 230} = 59149,5 \text{ см}^3.$$

Толщина стенки одной двутавровой подкрановой балки:

– из условия гибкости стенки

$$t_{\text{ст}} = \sqrt[3]{\frac{1,5W_{\text{х}}}{\lambda^2}} = \sqrt[3]{\frac{1,5 \cdot 59149,5}{130^2}} = 1,74 \text{ см}.$$

Назначаем толщину стенки двутавровой подкрановой балки  $t_{ст} = 1,8$  см.  
Требуемая площадь сечения одной двутавровой подкрановой балки:

$$\sum A = \sqrt{6 \cdot W_{тр} \cdot t_{ст}} = \sqrt{6 \cdot 59149,5 \cdot 1,8} = 799,3 \text{ см}^2.$$

Оптимальная высота рельсобалочной конструкции при заданной толщине стенки, равной 1,8 см:

$$h_{\text{опт}} = \frac{0,5 \cdot \sum A}{t_{ст}} = \frac{0,5 \cdot 799,3}{1,8} = 222 \text{ см.}$$

5. Окончательно назначаем высоту стенки:

$$h_{ст} = 220 \text{ см.}$$

Тогда  $A_{ст} = 220 \cdot 1,8 = 396 \text{ см}^2$ .

6. Назначаем площадь сечения поясов двутавровой подкрановой балки:

$$A_{вп} = A_{нп} = 0,25 \sum A = 0,25 \cdot 799,3 = 199,8.$$

Принимаем  $t_{п} = 3,60$  см,  $h = 220 + 2 \cdot 3,6 = 227,2$  см,  
тогда  $A_{п} = 60 \cdot 3,6 = 216 \text{ см}^2$

7. Суммарная площадь сечения одного двутавра

$$\sum A = 2 \cdot 216 + 396 = 828 \text{ см}^2 > 799,3 \text{ см}^2.$$

### Главный момент инерции двутавра

$$J_x = \frac{bh^3 - (b - t_{ст}) \cdot h_{ст}^3}{12};$$

$$J_x = \frac{60 \cdot 227,2^3 - (60 - 1,8)220^3}{12} = 6997340 \text{ см}^4.$$

Его момент сопротивления:

$$W_x = \frac{2J_x}{h} = \frac{6997340}{227,2} = 30798,2 \text{ см}^3.$$

Момент сопротивления 2 двутавров:

$$W_x = 2 \cdot 30798,2 = 61596,4 \text{ см}^3.$$

$$W_x = 61596,4 > 59149,5 \text{ см}^3.$$

Проверка на изгиб

$$\sigma = 12243937 / 61596,3 = 198,8 < 0,9 \cdot 230 = 207 \text{ МПа.}$$

Прочность на изгиб достаточна.

Сечение из двух двутавров скомпоновано.

Заменяем каждый из двутавров эллиптической в сечении рельсобалочной конструкцией с арочными рельсами сверху и снизу сечения.

Эллиптический в сечении профиль, образованный из двух зеркальных арок, имеет максимальный момент сопротивления при отношении большего габарита к меньшему, равному трём

$$\frac{2h_0}{b_0} = 3; \quad b_0 = \frac{2h_0}{3}.$$

Площадь эллиптического сечения равна

$$A_0 = \frac{32h_0t_0}{9},$$

где  $h_0$  – высота от оси  $x$  до середины толщины  $t_0$ ;

$t_0$  – толщина овала.

Его главный момент инерции

$$J_{x_0} = \frac{6t_0}{32t_0} \left( 2h_0^2 + \frac{5}{6}t_0^2 \right)$$

и момент сопротивления

$$W_{x_0} = \frac{J_{x_0}}{h_0 + 0,5t_0}.$$

Сверху и снизу овала размещаем рельсы [51].

Тогда суммарный момент инерции двух рельсобалочных конструкций равен:

$$\sum J_x = 2 \cdot \left\{ \frac{6A_0}{35} \left( 2h_0^2 + \frac{5}{6}t_0^2 \right) + 2A_{\text{рел}} \left( h_0 + \frac{t_0}{2} + t_r - \frac{h_{\text{рел}}}{2} \right)^2 + 2J_{\text{рел}} \right\} = 2 \cdot W_x \left( h_0 + \frac{t_0}{2} + t_r \right)$$

$$\sum J_x = W_x \frac{h}{2};$$

$$\frac{12A_0}{35} h_0^2 + \frac{A_0}{7} t_0^2 + 2A_{\text{рел}} \left[ h_0^2 + 2 \left( \frac{t_0}{2} + t_r - \frac{h_{\text{рел}}}{2} \right) h_0 + \left( \frac{t_0}{2} + \frac{2t_r}{2} - \frac{h_{\text{рел}}}{2} \right)^2 \right] +$$

$$+ 2J_{\text{рел}} - W_x \left( h + \frac{t_0}{2} + t_r \right) = 0;$$

$$\sum A = 2A_{\text{рел}} + A_0 \Rightarrow A_0 = \sum A - 2A_{\text{рел}};$$

$$h_0 = \frac{9A_0}{32t_0} \Rightarrow A_0 = \frac{32t_0}{9} h_0.$$

Подставив  $A_0 = \frac{32t_0}{9}h_0$ , получаем уравнение третьей степени для нахождения половины высоты овала:

$$h_0^3 + \frac{105}{64} \frac{A_{\text{рел}}}{t_0} h_0^2 + \frac{105}{128t_0} \left[ \frac{32t^3}{63} + 2A_{\text{рел}}(t_0 + 2t_{\Gamma} - h_{\text{рел}}) - W_x \right] h_0 + \frac{105}{128 \cdot t_0} \left[ \frac{A_{\text{рел}}}{2} (t_0 + 2t_{\Gamma} - h_{\text{рел}})^2 + 2J_{\text{рел}} - W_x \left( \frac{t_0}{2} + t_{\Gamma} \right) \right] = 0,$$

$$A_{\text{рел}} = 187,24; J_{\text{х рел}} = 31344;$$

$$h_{\text{рел}} = 33,575; t_0 + 2t_{\Gamma} - h_{\text{рел}} = 1 + 2 \cdot 3 - 33,575 = -26,575;$$

$$W_{\text{х тр}} = 59149,5 \text{ см}^3; t_0 = 1,1 \Rightarrow t_{\Gamma} = 3.$$

Примем эффективный крановый рельс ЭК140 [3, табл. 1 и 2]

$A_{\text{рел}} = 187,24 \text{ см}^2$  – площадь сечения;

$J_{\text{х рел}} = 31344 \text{ см}^4$  – его момент инерции;

$h_{\text{рел}} = 33,575 \text{ см}$  – его высота.

Толщину овала примем равной  $t_0 = 1 \text{ см}$ .

Требуемый момент сопротивления двух овалов  $W_x = 60897 \text{ см}^3$ .

После постановки получаем

$$h_0^3 + 307,19062 h_0^2 - 58117,743 h_0 - 84334,19 = 0.$$

Один из корней даёт требуемую половину высоты эллиптического сечения  $h_0 = 133,537 \text{ см}$ .

Главный момент инерции

$$J_x = \frac{6A_0}{35} \left( 2h_0^2 + \frac{5}{6}t_0^2 \right) = 2891202,8 \text{ см}^4.$$

Суммарный момент инерции рельсобалочный конструкции из двух овалов

$$\sum J_x = 2891202,8 + 5398762,8 + 2 \cdot 31344 = 8352653,6 \text{ см}^4.$$

Её момент сопротивления

$$W_x = \frac{\sum J_x}{h_0 + 0,5t_0 + t_{\Gamma}} = 61032 \text{ см}^3 > 60897.$$

Площадь сечения одного эллиптического профиля

$$A_o = \frac{32 \cdot t_o}{9} \cdot h_o = \frac{32 \cdot 1}{9} \cdot 133,5 = 474,8 \text{ см}^2,$$

что составляет

$$\frac{474,8 \cdot 100\%}{828} = 57,34\%.$$

Проверка прочности при изгибе в вертикальной плоскости

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq \gamma R_y ; \sigma = 0,9 \cdot 230 = 207 \text{ МПа}.$$

Прочность обеспечена.

Произошло снижение материалоемкости на 42,66 % при замене двутавра ( $A_T = 828 \text{ см}^2$ ) на эллиптический профиль ( $A_o = 474,8 \text{ см}^2$ ).

### 3.7. Подкраново-подстропильная балка, содержащая верхний и нижний пояса из труб

Рассмотрим подкраново-подстропильную балку, на которую получен патент РФ [52].

Известно, что трубчатые подкрановые конструкции отлично работают при динамических подвижных нагрузках [53] и имеются патенты на трубчатые подкрановые конструкции [48], [54], [55] и на специальные рельсы для них [56], [57].

Технический результат – повышение долговечности и ремонтпригодности подкраново-подстропильных ферм в несколько раз при одновременном снижении их материалоемкости.

Известна рельсобалочная конструкция, состоящая из трубчатой подкрановой балки эллиптического профиля с отношением большего диаметра к меньшему диаметру, равному трём с закреплёнными на ней без проскальзывания арочного профиля трёхглавыми рельсами сверху и снизу сечения [48].

Упомянутые рельсы соединены с подкрановой балкой заклёпками с сердечниками-замыкателями в каждой [50] и самонапрягающимися шпильками-затяжками.

Эффективность рельсобалочных конструкций наибольшая, но подкраново-подстропильные балки с нижними поясами из таких рельсобалочных конструкций неизвестны.

Технический результат реализован следующим образом. подкраново-Подстропильная балка содержит верхний и нижний пояса из труб. Причем нижний пояс её выполнен из пары рельсобалочных конструкций, каждая из

которых содержит подкрановую балку эллиптического профиля с отношением большего диаметра к меньшему диаметру, равному трём, и ориентированную большим диаметром вертикально.

Сверху и снизу на подкрановой балке закреплены без проскальзывания трёхглавые арочные рельсы. При этом верхний пояс и пара рельсобалочных конструкций нижнего пояса подкраново-подстропильной балки соединены друг с другом парой непрерывных стенок-подвесок из профильных листов. Пара стенок-подвесок симметрична относительно вертикальной оси  $Y$ .

Верхний продольный край каждой из упомянутых стенок-подвесок копирует поверхность трубы верхнего пояса и соединен с ним посредством фрикционных болтов, нижний профильный край каждой стенки-подвески копирует поверхность рельсобалочной конструкции нижнего пояса подкраново-подстропильной балки и соединён с ней посредством заклёпок с сердечниками-замыкателями в каждой.

Стенки-подвески соединены друг с другом и с каждой из пары рельсобалочных конструкций нижнего пояса подкраново-подстропильной балки в зоне на 100...150 мм ниже верхнего трёхглавого арочного профиля рельса, а все сечение подкраново-подстропильной балки сбалансировано относительно горизонтальной оси  $X$ .

Сопоставление новой подкраново-подстропильной балки с аналогом (подкраново-подстропильной фермой) раскрывает следующие существенные отличия, а именно:

- ✓ решётчатая конструкция заменена балочной в несколько раз более надёжной;

- ✓ исключены сварные соединения, всегда имеющие скрытые дефекты [56] и при действии динамических нагрузок способствующие возникновению усталостных трещин, так как эффективные коэффициенты концентрации напряжений у сварных соединений в 4...5 раз выше, чем у болтовых соединений;

- ✓ подкраново-подстропильные балки снабжены амортизирующей способностью за счёт трубчатого профиля поясов и арочного профиля рельсов;

- ✓ все соединения быстроразъёмные, поэтому достигнута высокая ремонтпригодность и взаимозаменяемость повреждённых элементов.

На рис. 20 и 21 показана подкраново-подстропильная балка. Подкраново-подстропильная балка содержит верхний пояс 1 из трубы, пару симметричных относительно вертикальной оси  $Y$  стенок-подвесок 2, выполненных из профильных листов, с рёбрами 3.

Верхний продольный край каждой из упомянутых стенок-подвесок копирует поверхность трубы верхнего пояса 1 и соединён с ним посредством фрикционных болтов 4, затянутых с гарантированным натягом гайковертом.

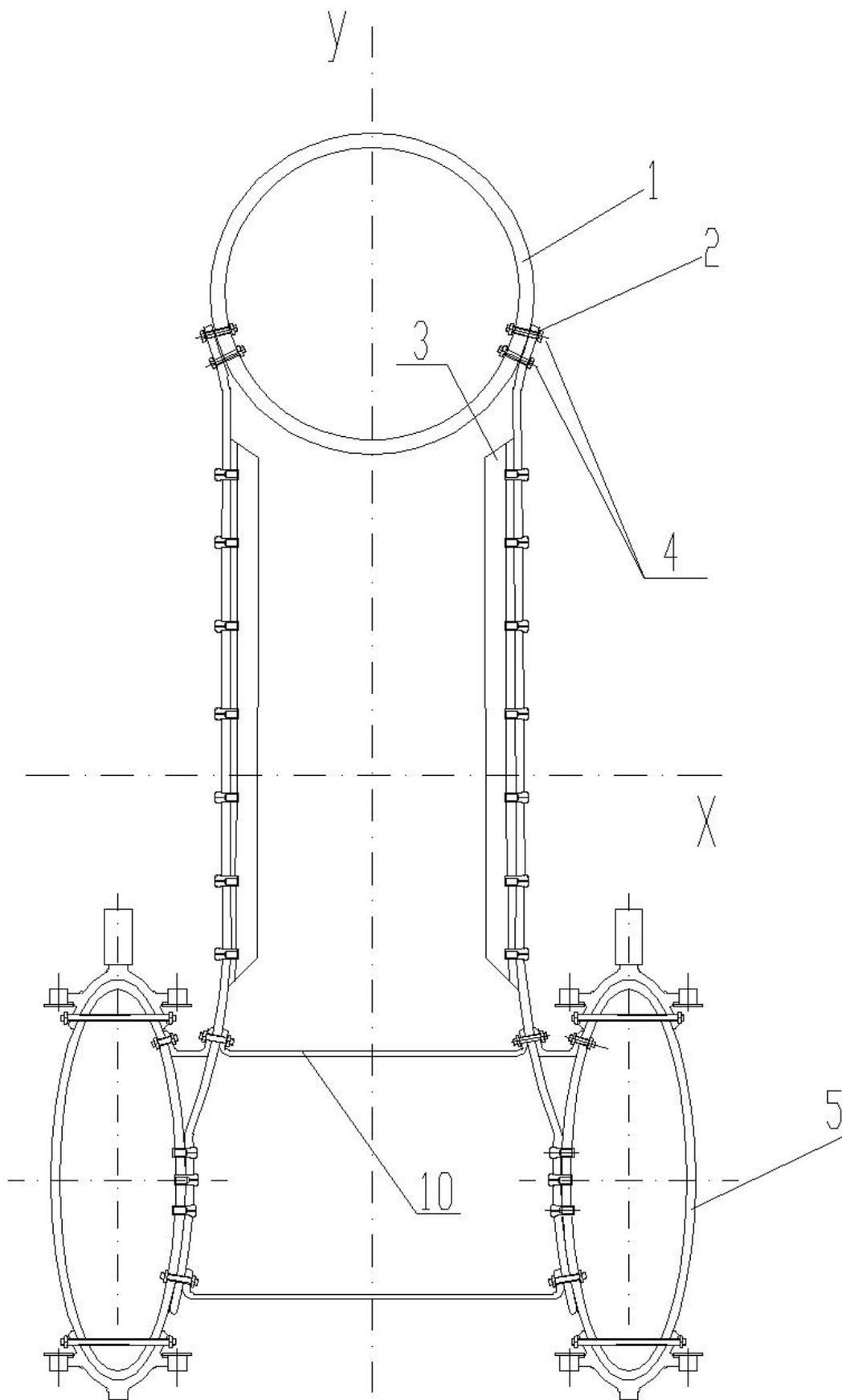


Рис. 20. Подкраново-подстропильная балка

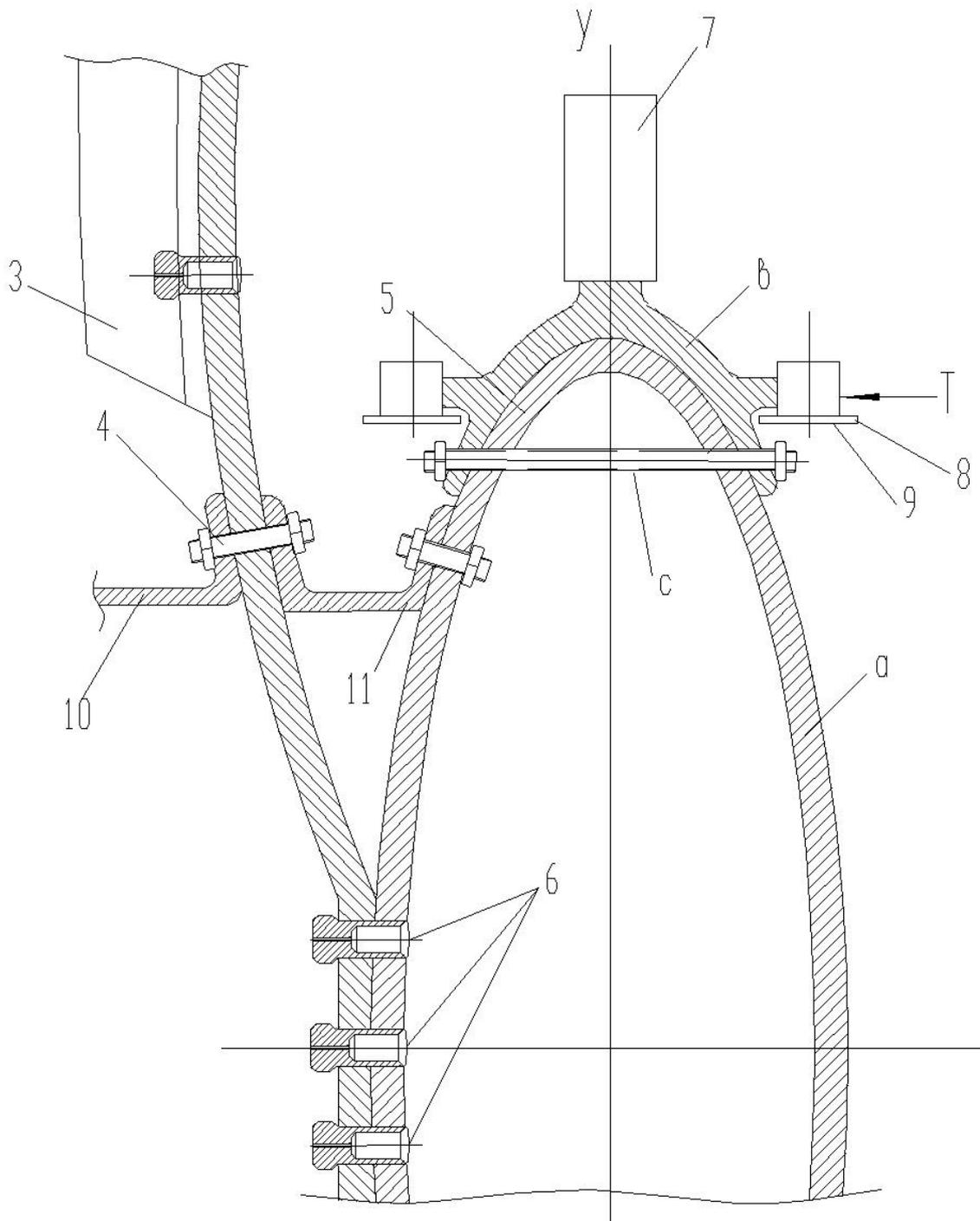


Рис. 21. Подкраново-подстропильная балка

Нижний продольный край каждой стенки-подвески копирует поверхность эллиптической трубы *a* рельсобалочной конструкции *5* и соединён с ней без проскальзывания посредством заклёпок *6* с внедрённым в каждую сердечником. Внедрение заклёпок-штулок *6* в соединяемые элементы и сердечников осуществляется автоматизированно пиротехнической установкой с использованием энергии выстрела.

Каждая из рельсобалочных конструкций содержит эллиптическую трубу *a* снабжена трёхглавыми рельсами *b* арочного профиля сверху и

снизу и копирующими своей подошвой поверхность эллиптической трубы  $a$ . Эллиптическая труба  $a$  выполнена с отношением диаметров, равному трём. В этом случае момент сопротивления эллиптической трубы достигает своего максимума, и она имеет момент сопротивления при изгибе  $W_x$  больше чем у двутаврового профиля на 10–15 %.

Верхний трёхглавый рельс  $b$  воспринимает вертикальные воздействия  $P$  от основных колёс 7 мостового крана, а горизонтальный распор воспринимает шпилька-затяжка  $c$ .

Одна из боковых глав трёхглавого арочного рельса  $b$  воспринимает воздействия  $T$  от направляющих роликов 8 крана. Направляющие ролики крана имеют гребни 9 исключая сходы крана с рельсов. Трёхглавые арочные рельсы  $b$  соединены с эллиптической трубой 5 посредством шпилек-затяжек  $c$ . Эти шпильки самонапрягающиеся.

При нахождении каждого из колёс крана 6 над шпилькой-затяжкой  $c$  усилие в ней возрастает, и трение между контактирующими поверхностями также возрастает. Поэтому соединение работает как фрикционное [48].

Нижний трёхглавый арочный рельс необходим для увеличения прочности нижнего пояса подкраново-подстропильной балки. Нижний пояс подкраново-подстропильной балки состоит из пары эллиптических труб, упрочненных в наиболее напряжённых зонах трёхглавыми рельсами  $b$  и симметричных относительно вертикальной оси  $y$ .

Упомянутая рельсобалочная конструкция при необходимости может быть отсоединена от стенок-подвесок и перевернута на  $180^\circ$ . Этим повышена её ремонтпригодность. Стенки-подвески 2 соединены друг с другом посредством швеллерных профилей 9. С эллиптическим профилем стенки-подвески также соединены посредством швеллерных профилей 11 и фрикционных болтов.

Таким образом, всё сечение подкраново-подстропильной балки состоит из пяти трубчатых отсеков, а именно: верхнего пояса; отсека, ограниченного парой стенок-подвесок, верхним поясом 1 и швеллерным элементом 10; отсека, ограниченного парой стенок-подвесок, швеллерным элементом и нижним швеллерным элементом; двух отсеков, образованных парой эллиптических профилей.

Экономический эффект достигнут в результате следующих усовершенствований:

- ✓ нижний пояс подкраново-подстропильной балки выполнен из пары рельсобалочных конструкций, каждая из которых состоит из эллиптической подкрановой балки и трёхглавых арочных рельсов вверху и внизу;
- ✓ работа подкраново-подстропильной балки переведена в зону так называемой «неограниченной долговечности» и этим обеспечена надёжная её работа в течение 40...30 лет интенсивной эксплуатации;
- ✓ материалоемкость подкраново-подстропильной балки снижена по сравнению с подкраново-подстропильной фермой на 20...30 %.

## 4. СПОСОБЫ РИХТОВКИ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК

В настоящее время рихтовка подкрановых балок является довольно трудоёмким и дорогим процессом. Необходимость рихтовки подкрановых балок (а также других элементов каркаса) возникает вследствие неравномерных осадок зданий. Особенно данная проблема актуальна для промышленных зданий в связи со слабым рыхлым грунтовым основанием, особыми условиями эксплуатации (повышенные динамические нагрузки, агрессивные среды и т.д.). Вследствие неравномерных осадок каркаса сооружения возникает неблагоприятное напряжённое состояние, которое приводит к локальным повреждениям конструкции, потере устойчивости, прочности, что приводит к аварийным ситуациям на производстве. Важно создать такие конструкции, в которых возможна была бы регулировка напряжённого состояния. Рассмотрим методы рихтовки подкрановых балок, разработанные и запатентованные в ПГУАС.

### 4.1. Способ управления неравномерными осадками здания на ленточных фундаментах

Рассмотрим один из таких методов, на который получен патент России [59], а результаты научной работы были опубликованы в виде научной статьи [60].

На наружной и внутренней поверхности осевшего участка стены и ленточного фундамента, сверлят в стене сквозные горизонтальные отверстия, делают пропилы для упоров, снабжённых столиками под углом  $\alpha = 60...75^\circ$  к горизонтали.

Закрепляют на стене двусторонние упоры из швеллеров, вводя полки швеллеров в пропилы, пропускают сквозь отверстия в упорах и в стене шпильки с нарезкой.

Удаляют верхний слой грунта с наружной и внутренней стороны старого фундамента на глубину, не превышающую глубину его заложения, отсыпают массивы из боя кирпича или щебня, образующие симметричную пару по обеим сторонам старого фундамента, укладывают на эти массивы опорные плиты. Устанавливают на плиты контрфорсы под углом  $\alpha = 60...75^\circ$  к горизонтали и соединяют их базы с плитами, а оголовки – с упорами, при этом плиты выполняют с симметричными относительно их центра отверстиями для впрессовывания через них сыпучего рабочего тела.

В нижней части контрфорса устанавливают домкратную балку для взаимодействия с гидродомкратами-пульсаторами, которые устанавливают соосно с отверстиями в плите с образованием симметричной пары относительно контрфорса между домкратной балкой и плитой.

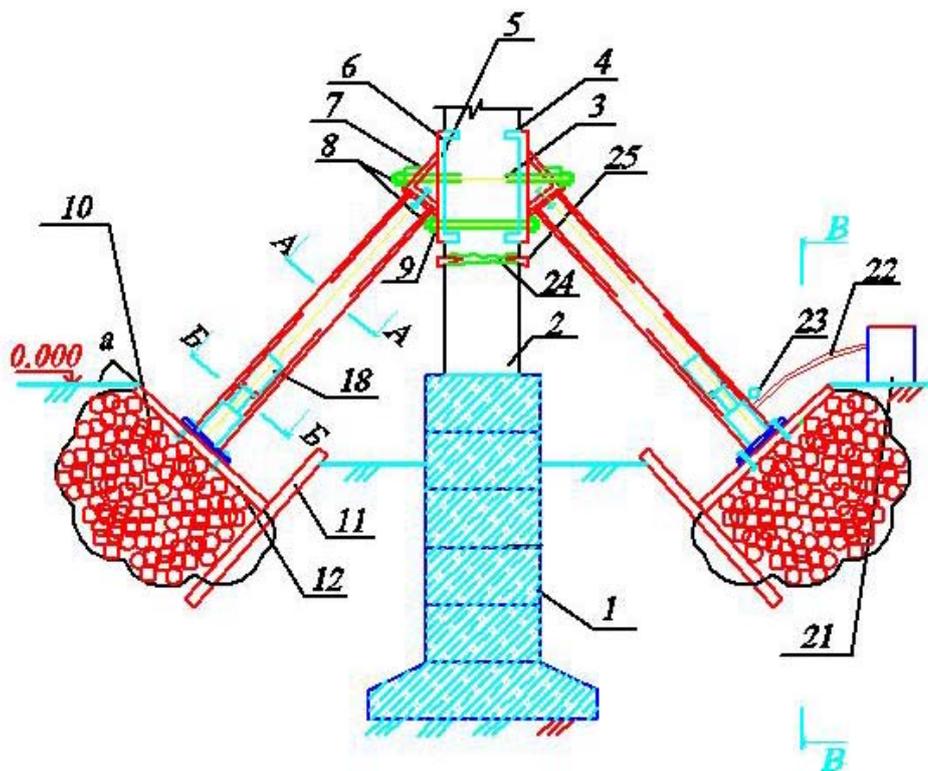


Рис. 22

Фланцы плунжеров гидродомкратов-пульсаторов соединяют с домкратной балкой, а их опорные фланцы опирают на сыпучее рабочее тело – в отверстие в плите контрфорса, тем самым образуют арку с упорами в её замке.

Включают насосную станцию в обычном или пульсирующем режиме и синхронно подают давление масла в гидродомкраты-пульсаторы.

Нагружают каждую усиливающую арку, разгружают старый фундамент, сжимают и упрочняют грунтовое основание под плитами контрфорсов, полностью разгружают старый фундамент до образования щели под упорами в старом фундаменте.

Устанавливают с двух сторон от каждого гидродомкрата-пульсатора между плитой контрфорса и домкратной балкой стопоры из столбиков, прикрепляют стопоры к плитам контрфорсов, синхронно разгружают гидродомкраты каждой арки.

Устраивают ниши в старом фундаменте под упорами и монтируют в них гидродомкраты, отделяют блок разгруженного фундамента осадочными швами с двух сторон, включают гидродомкраты этого блока, упрочняют этим грунтовое основание под ним и увеличивают раскрытие щели над осадочным блоком.

Забивают страховочные клинья в щели над осадочным блоком, инъецируют в щели пластичный раствор, плотно заполняют их, и после схватывания раствора демонтируют гидродомкраты-пульсаторы, оставляя ниши для них открытыми.

На рис. 22 показан усиливаемый фундамент 1 из фундаментных блоков или бутовый. В осевшем участке стены 2 или ленточного фундамента, сверлят сквозные горизонтальные отверстия 3 и делают пропилы 4 для полок упоров 5 из швеллеров 6, снабжённых снаружи столиками 7 под углом  $\alpha = 60...75^\circ$  к горизонтали.

Монтируют на стену двусторонние упоры со столиками, вводят полки швеллеров в пропилы, пропускают сквозь отверстия 3 в упорах и в стене шпильки 8 с нарезкой, и затягивают на них гайки 9, закрепляя упоры на стене. Шпильки устанавливают с шагом  $(1...2)t$ , где  $t$  – толщина фундамента.

Удаляют верхний слой грунта с наружной и внутренней стороны старого фундамента на глубину, не превышающую глубину его заложения. Отсыпают массивы 10 из боя кирпича или щебня, образующие симметричную пару, по обеим сторонам старого фундамента. Устанавливают направляющие 11 для плит 12. Направляющие забивают в грунт.

Укладывают на эти массивы опорные плиты под углом  $\alpha = 60...75^\circ$  к горизонтали.

В плитах симметрично относительно центра имеются отверстия 13 для впрессовывания через них рабочего тела, например, боя кирпича или щебня. Устанавливают на плиты базы 14 контрфорсов 15 и соединяют их с плитами, болтами 16. В нижней части контрфорса установлена домкратная балка 17, пропущенная сквозь его стержень. Домкратная балка предназначена для взаимодействия с гидродомкратами-пульсаторами 18.

Фланцы 19 плунжеров соединяют с домкратной балкой болтами 20. Гидродомкраты-пульсаторы монтируют между домкратной балкой и плитой контрфорса, соединяя их плунжер с домкратной балкой, а опорный фланец упирают на сыпучее рабочее тело в отверстие в плите контрфорса.

Гидродомкраты-пульсаторы соединяют маслопроводами с насосной станцией 21.

Описанный выше метод позволяет с минимальными материальными затратами восстановить проектное положение каркаса здания, подкрановых балок и отдельных элементов зданий.

## 4.2. Управление неравномерными осадками и креном сооружения макрорегуляторами

Задача по реализации способа управления перемещениями, осадками и креном сооружения фундаментами на сваях, объединёнными ростверком, жёстко соединёнными с колонной, реализуют следующим образом [61].

Ветви колонны, выполненные из овальных в сечении труб, закрепляют на независимых друг от друга ростверках ветвей, объединяющих сваи под ними. Устанавливают по шаблону пространственные арматурные каркасы

и опалубку ростверка-стопора, объединяющего сваи под ним, и являющегося макрорегулятором, и бетонируют его. Причём верхняя поверхность его выступает выше поверхности пола на 600...700 мм.

Устанавливают на ростверк-стопор по вертикальной оси колонны столбики-стопоры, а по шаблону – пространственные арматурные каркасы и анкерные болты, закреплённые на них, и опалубку ростверков ветвей, причём верхняя поверхность ростверков совпадает с поверхностью пола.

Контролируют правильность установки анкерных болтов, навинчивают на них нижние рихтующие гайки, контролируют отметку их верхней грани нивелиром, безвыверочно монтируют колонну, совмещая отверстия в её базе с анкерными болтами. Опускают колонну до упора её плиты в рихтующие гайки и закрепляют базу колонны крепёжными гайками.

В случае возникновения неравномерных осадок колонн, определяют нивелировкой величину осадки и крена каждой колонны, устанавливают сверхнормативные отклонения осадок отдельных колонн, составляют таблицу величин необходимой стимуляции осадок колонн, получивших минимальную осадку и исказивших прямолинейность рельсовых путей кранов и их проектных отметок, и вызвавших неблагоприятные напряжения в каркасе здания.

Для выравнивания осадки колонны, монтируют домкратную балку, соединяющую её ветви, устанавливают под домкратной балкой на ростверк-стопор домкраты-пульсаторы и производят вдавливание ростверка-стопора колонны в грунтовое основание на проектную величину  $\Delta S_{\text{доп}}$  вместе с соединёнными с ним сваями. Величину  $\Delta S_{\text{доп}}$  контролируют с помощью нивелира.

Разгружают домкраты-пульсаторы, и этим полностью разгружают ростверк-стопор, передают всю вертикальную сжимающую силу от колонны только на ростверки ветвей колонны. Этим вызывают их автоматическую дополнительную осадку и колонны на величину  $\Delta S_{\text{доп}}$  до упора домкратной балки в столбики-стопоры и автоматического стопорения и остановки осадок при достижении колонной проектной отметки, затем циклы повторяют с другими колоннами.

На рис. 23 показан один из фундаментов на сваях, являющийся макрорегулятором для сооружения; на рис.24 показан вид А-А.

Колонна 1 содержит левую 2 и правую 3 ветви, соединённые друг с другом домкратной балкой 4. Каждая из ветвей снабжена опорными таврами 5. Опорные тавры соединены с ветвями сваркой. Контактующие поверхности опорных тавров фрезерованы и опираются на фрезерованные поверхности фланцевых гаек 7. Фланцевые гайки наворачиваются на анкерные болты из трубчатой арматуры 8. Трубчатая арматура с винтовыми гребнями снабжена петлевыми анкерами 9. Сваи 10 ветвей колонны объединяют ростверки ветвей 11.



Устанавливают на ростверк-стопор по вертикальной оси колонны столбики-стопоры 14, являющиеся стопорами осадок.

Анкерные болты сделаны из арматуры периодического профиля, с винтовыми гребнями [62]. Винтовые гребни обеспечивают, как и у стержневой арматуры периодического профиля [63], хорошее сцепление с бетоном. Расположение гребней по винтовой спирали правой или левой позволяет выполнять стыки такой арматуры без трудоёмкого процесса сварки. Особенно эффективна арматура периодического профиля с гребнями по винтовой спирали для анкерных болтов. Сваи объединены ростверками ветвей под каждой из ветвей колонн.

Анкерные болты замоноличены в ростверках ветвей точно по шаблону с контролем установки, например, лазерным нивелиром.

Контролируют правильность установки анкерных болтов, навинчивают на анкерные болты верхние 7 фланцевые рихтующие гайки. Контролируют отметку их верхней грани лазерным нивелиром, безвыверочно монтируют колонну, совмещая отверстия в её базе с анкерными болтами, опускают колонну до упора её опорных тавров в рихтующие гайки, закрепляют базу колонны крепёжными болтами.

Отставание осадок колонн, получивших минимальную осадку, исказило прямолинейность рельсовых путей кранов и проектные отметки их. Неравномерные осадки вызвали неблагоприятные напряжения в каркасе здания. Для выравнивания осадок всех колонн, необходимо стимулировать осадку колонн, получивших минимальную осадку. Для этого ветви колонны соединяют домкратной балкой.

Устанавливают на ростверк-стопор, являющийся макрорегулятором, домкраты-пульсаторы 15 по центру или с эксцентриситетом. Производят вдавливание ростверка-стопора на проектную величину  $\Delta S_{\text{доп}}$ , соответствующую необходимой дополнительной осадке этой колонны; контролируемую по лазерному нивелиру, вместе с соединёнными с ним сваями.

Разгружают домкраты-пульсаторы, и этим полностью разгружают ростверк-стопор и передают всю вертикальную сжимающую силу только на ростверки ветвей колонны. Этим вызывают их автоматическую дополнительную осадку и колонны на величину  $\Delta S_{\text{доп}}$  до упора домкратной балки в столбики-стопоры 14, и автоматического стопорения и остановки осадки при достижении колонной проектной отметки. Затем циклы повторяют с другими колоннами.

После запланированного вдавливания ростверка-стопора на величину  $\Delta S_{\text{доп}}$  над столбиками-стопорами появляются зазоры  $\Delta S_{\text{доп}}$ , равные по величине требуемой дополнительной осадке колонн. После разгрузки домкратов-пульсаторов ростверк-стопор также разгружается от сил, передаваемых от каркаса сооружения. Силы передают только на ростверки ветвей и на сваи под ними. Происходит увеличение сил на ростверки

ветвей колонны в 2...2,5 раза, а следовательно, и на сваи под ними. Такое увеличение сил на сваи вызывает их автоматическую дополнительную осадку на запланированную величину по отношению к нулевой отметке сооружения. Дополнительная осадка на величину  $\Delta S_{\text{доп}}$  происходит не мгновенно, а постепенно в течение нескольких дней.

Осадка свай продолжается до полного закрытия зазора  $\Delta S_{\text{доп}}$  и упора домкратной балки в столбики-стопоры, и включения в работу ростверка-стопора, выполняющего функции макрорегулятора, и свай под ним. После закрытия зазора осадка автоматически стопорится, так как ростверки и сваи под ними, разгружаются на 40...50 %, поэтому их осадка автоматически стопорится.

Цель достигнута, и неравномерные осадки всех фундаментов выровнены. Вредные избыточные напряжения, вызванные в каркасе и конструкциях здания, полностью устранены и восстановлена нормальная надёжная эксплуатация здания. Новый свайный фундамент под колонну выполнил функции макрорегулятора и устранил избыточные напряжения в каркасе здания и его узлах.

Сопоставление нового способа управления перемещениями, осадками и креном сооружения фундаментами на сваях, являющимися макрорегуляторами, с прототипом раскрывает следующие существенные отличия, а именно:

- ✓ ростверк состоит из трёх, не соединённых друг с другом участков: двух ростверков – ветвей, и ростверка-стопора, объединяющих сваи под ним по центру;

- ✓ каждый из ростверка имеет осадку, независимую от других ростверков;

- ✓ выравнивание осадок фундаментов и колонн выполняют или посредством сообщения мало осевшим сваям дополнительных осадок  $\Delta S_{\text{доп}}$ , или посредством поддомкрачивания избыточно осевших колонн;

- ✓ осадку автоматически стопорят закрытием ростверком-стопором зазора.

Экономический эффект достигнут вследствие:

- ✓ устранения возможности обрушения здания;

- ✓ уменьшения материалоемкости каркаса сооружения вследствие того, что свайный фундамент, являясь макрорегулятором, управляющим напряжённым состоянием каркаса здания, позволяет оптимизировать напряжённое состояние каркаса сооружения.

По материалам исследований был опубликован ряд статей, например [64].

### 4.3. Способ рихтовки разрезных подкрановых балок

Снижению эксплуатационных издержек на промышленных предприятиях (особенно тяжёлой промышленности) является в настоящее время актуальной проблемой. Значительные средства тратятся на рихтовку подкрановых балок. Сейчас для восстановления проектного положения подкрановых путей применяется рихтовка рельсов на балках. Данный способ значительно усложняет эксплуатацию подкрановых путей. Для выравнивания по высоте под рельсы подкладываются выравнивающие прокладки различной толщины, вследствие чего локальность воздействий от колес крана увеличивается. При этом резко возрастает местное кручение верхнего пояса и поясных швов, приводящее к преждевременному появлению усталостных трещин.

Предлагаем более эффективный метод рихтовки балок на колоннах и каркаса здания при помощи ряда новых конструктивных решений [65].

Для рихтовки применены домкраты со специально разработанными приспособлениями. На рис. 25 показан узел опирания подкрановых балок на консоль колонны и реализация способа рихтовки балок и вид А-А. Рихтовка выполняется поэтапно. Удаляют верхние болты, соединяющие опорные рёбра балок между собой. Удаляют прокладку между рёбер и вставляют в зазор между рёбер рычаг с отверстиями и торцевым фланцем. Вставляют вместо одного из вынутых болтов палец, пропустив его сквозь отверстие в рычаге. Устанавливают со стороны цеха два парных опорных уголка с отверстиями в полке, соединяют шарнирно выпущенный конец рычага и верхние концы опорных уголков. Упирают нижние торцы опорных уголков в плиту консоли колонны. Заменяют анкерные болты балки, крепящие подкрановую балку к плите колонны, на более длинные с учётом необходимой величины  $\Delta$ . Устанавливают на плите колонны упор, ограничивающий поперечное перемещение опорных рёбер при поддомкрачивании.

Устанавливают на консоль между подкрановой балкой и верхней частью колонны гидродомкрат-пульсатор, поддомкрачивают две подкрановые балки совместно, уперев поршень домкрата в рычаг с силой  $F$  и поднимая балки с силой  $2F$  до упора гаек анкерных болтов в плиту колонны. Подкладывают под торцы опорных рёбер подкладки, контрят анкерные болты, крепят фланец рычага к колонне регулирующими шпильками и эксплуатируют отрихтованный подкрановый путь.

Подкрановые балки 1 с закрепленным на них рельсом 2 осели на величину  $\Delta$ , и нормальная эксплуатация рельсовых путей нарушилась. Подкрановая балка имеет опорные рёбра  $a$ , соединенные друг с другом болтами  $b$ .

Колонна 3 ступенчатая. Консоль колонны имеет опорную плиту 8, на которую опираются опорные рёбра  $a$  подкрановых балок 1, соединенных с консолью анкерными болтами  $c$  (тормозная балка не показана).

Между опорными рёбрами  $a$  имеется зазор 20...25 мм. В этот зазор плотно вставлены прокладки. Верхние болты  $b$  снимают и верхнюю

прокладку убирают. В зазор между опорными рёбрами *a* вводят рычаг 4 с фланцем 5. В рычаге заранее просверлены отверстия. Один из вынутых болтов *b* заменяют пальцем 6, пропуская его сквозь отверстие в середине длины рычага. Консоль рычага 4 выходит наружу на 100...150 мм, он соединён шарнирно с симметрично размещёнными относительно него опорными уголками 11 посредством болта 10, пропущенного сквозь полки уголков и рычаг. Уголки соединены друг с другом внизу болтом 10. Между подкрановой балкой и верхней частью колонны на плиту консоли устанавливают гидродомкрат-пульсатор 7, упирая его поршень в рычаг снизу. К плите 8 консоли прикрепляют упор 9. Если одновременно необходима поперечная рихтовка балок, то упор закрепляют с соответствующим зазором  $\delta$ , позволяющим опорным рёбрам переместиться в поперечном направлении.

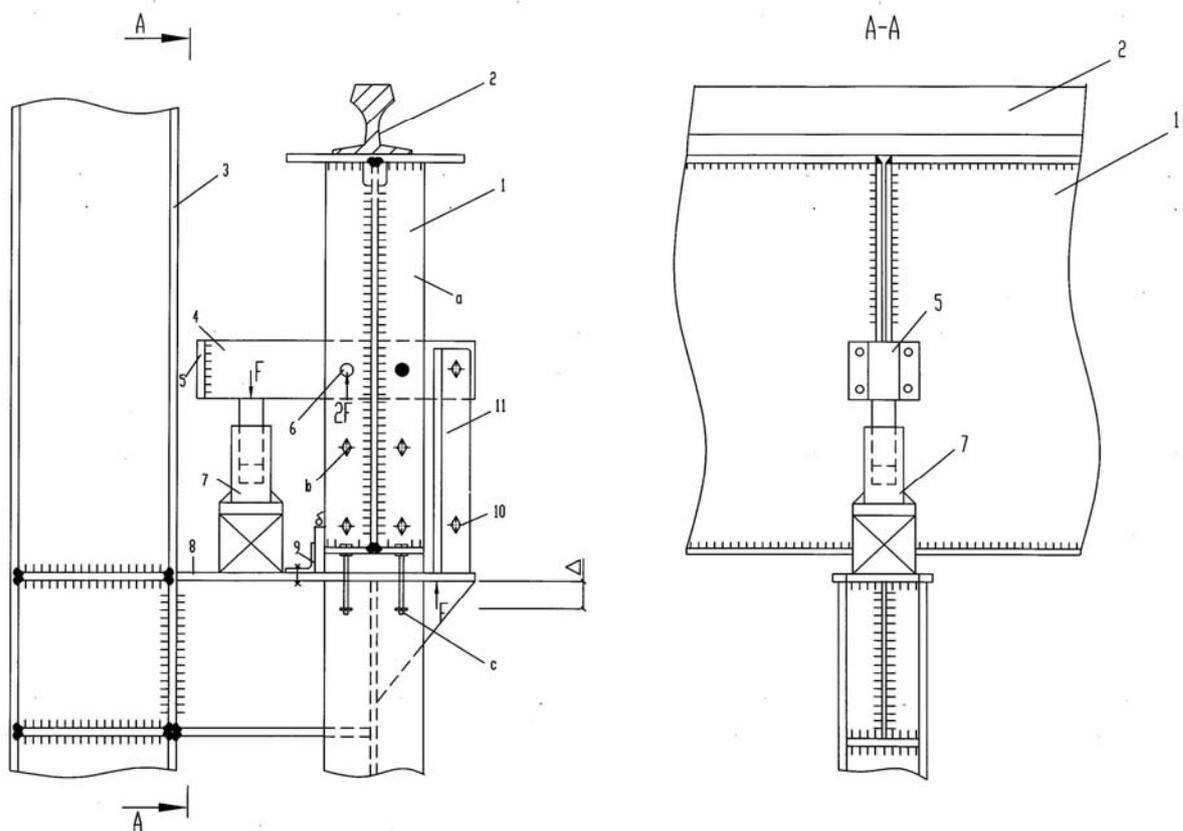


Рис. 25. Рихтовка подкрановой балки

Данный способ рихтовки имеет ряд преимуществ над существующими методами, а именно: происходит снижение трудоемкости за счет механизации процесса рихтовки, а главное рихтовка происходит без остановки производственного процесса [66].

#### 4.4. Рихтовка каркаса здания при помощи фундамента макрорегулятора

В настоящее время рихтовка сложна и трудоемка. Удобно проводить рихтовку каркаса здания, так как одна рихтовка балок может привести к тому, что после рихтовки на нужную отметку верх крана будет находиться в опасной близости от ригеля или задевать его.

Предлагаем новый способ рихтовки каркаса здания путем обеспечения впредссыывания грунтонасосом в сопло, размещённое в теле фундамента и расширяющееся к его подошве, достаточно жесткой грунтовой смеси, обеспечивающей выдавливание и выдерживание фундамента из грунтового основания вверх на заданную величину [67].

Грунтонасос для циклического впредссыывания пластифицированного грунта в полости фундамента содержит домкрат-пульсатор и бункеры для пластифицированного грунта и пластификатора. Домкрат-пульсатор установлен над соплом, расширяющимся книзу, и снабжен снизу фланцем с консольными выступами сверху и входными отверстиями с боков. На консольных выступях сверху расположены пружины, упирающиеся внизу в консольные выступы, соединенные с корпусом пульсирующего домкрата. При этом поршень домкрата упирается снизу в опорную балку по ее центру. Концы опорной балки соединены тягами, проходящими сквозь консольные выступы корпуса домкрата, сквозь пружины, сквозь консольные выступы сопла и соединены с последними, а боковые отверстия сопла соединены трубопроводами с бункером для пластифицированного грунта и бункером для пластификатора.

На рис. 25 показан грунтонасос для циклического впредссыывания пластифицированного грунта в полости и трубчатые сваи; на рис. 26 – вид А-А.

Грунтонасос состоит из пульсирующего домкрата-пульсатора 1. Масло в домкрат подается от импульсной насосной станции. Корпус домкрата-пульсатора 1 размещён над верхним малым входным отверстием сопла 2. На нижнем широком конце сопла имеется фланец 3, окаймляющий большое выходное отверстие сопла. На сопле имеются консольные выступы 4, на которые сверху оперты пружины 5, упирающиеся снизу в консольные выступы 6, соединенные с корпусом домкрата 1. Поршень 7 пульсирующего домкрата уперт снизу по центру в опорную балку 8. Ее же концы соединены тягами 9 с консольными выступами сопла. Тяги пропущены сквозь опорную балку, консольные выступы 6 пульсирующего домкрата, пружины 5 и консольные выступы сопла. Входные боковые отверстия 10 сопла имеют патрубки с фланцами и предназначены для подачи в него пластифицированного грунта через одно отверстие и пластификатора через другое. Пластифицированный грунт подается в сопло из бункера. Грунт

может применяться различный, например: песок, щебень, галька, бой кирпича и т.п. В качестве пластификатора может быть применен глиняный раствор необходимой пластичности.

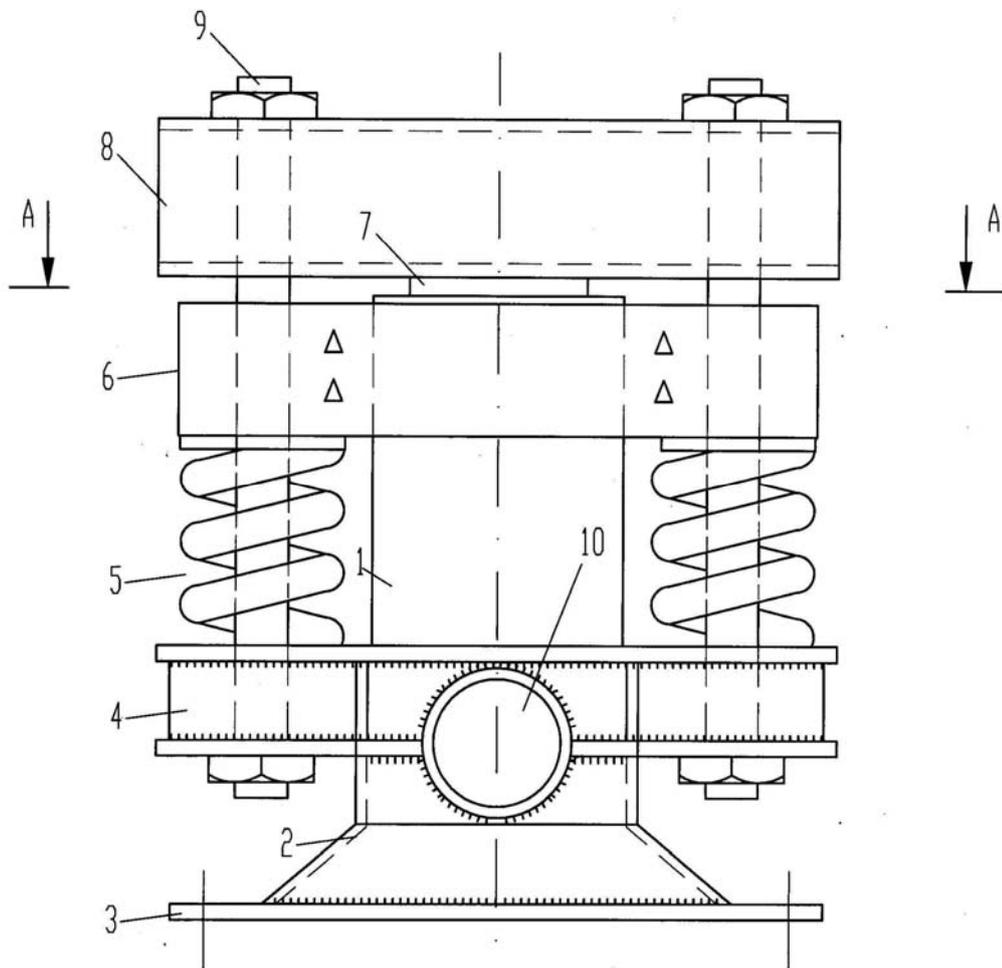


Рис. 25. Грунтонасос

A - A

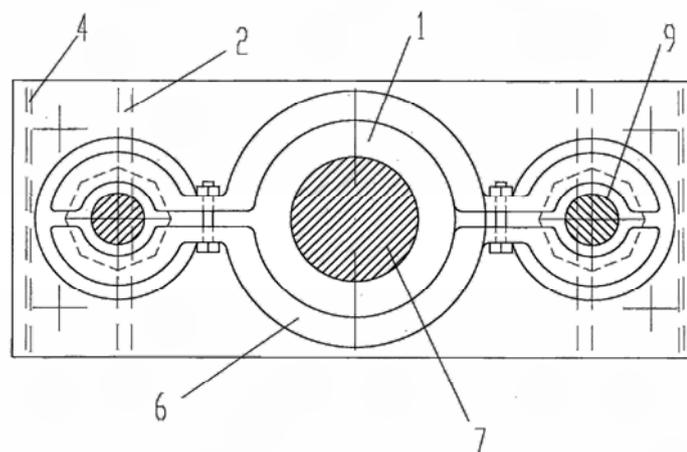


Рис. 26. Грунтонасос. Вид А-А

Грунтонасос в первую очередь предназначен для фундаментов с соплами с регулируемой осадкой. Фундамент оснащен 3...4 соплами, расширяющимися книзу. Сверху на каждом входном сопле фундамента установлен патрубок с фланцем, соответствующим фланцу 3 грунтонасоса. Пустота фундамента обычно заранее заполнена грунтом (песком, щебнем, шлаком, кирпичным боем и т.п.). Исключаются пучинистые грунты и грунты, дающие осадку при замачивании. Для регулирования не только осадки, но и крена фундамента в нем должно быть четыре сопла. В этом случае колонна здания размещается по центру фундамента, а четыре сопла симметрично относительно колонны.

Фундаменты возводятся обычным образом и производится предварительная стабилизация грунтового основания под фундаменты и регулирование их осадки и крена. Эти работы сопровождаются контролем осадки и крена каждого из фундаментов по отношению к неподвижным стационарным реперам, например, с использованием лазерных нивелиров. На каждое из сопел устанавливаются грунтонасосы. Из бункеров в сопло 2 через отверстия 10 по шлангам подается нужной консистенции пластифицированный грунт и пластификатор. После полного заполнения сопел 2 включается импульсная насосная станция. Поршень 7 каждого из грунтонасосов импульсно развивает усилие, упирается в несущую балку 8. Корпус пульсирующего домкрата 1 соответствует входному отверстию сопла 2 и импульсно давит на пластифицированный грунт, вдавливая его в сопло 2 и далее в сопло фундамента. Одновременно консоли 6 корпуса домкрата-пульсатора сжимают пружины 5. Поршень 7 выдвигается на свой ход, и цикл впresseвывания пластифицированного грунта заканчивается. Подача масла под давлением заканчивается, и пружины 5 возвращают импульсный домкрат 1 в исходное положение. Циклы продолжаются, пластифицированный грунт впresseвывается под подошву фундамента и образует ядро упроченного грунта. Циклы продолжаются до заданной величины давления  $p_0$  масла под поршнем домкрата-пульсатора 1 и уплотнения и упрочнения грунта под подошвой до соответствующей величины. После этого суммарные силы сцепления фундамента с грунтом по подошве, по боковым поверхностям фундамента и сила, передаваемая на фундамент от колонны или стены сооружения, преодолеваются, равновесие фундамента нарушается и последний выдавливается и выдергивается из грунта до тех пор, пока не будет устранен его крен и достигнута первоначальная проектная отметка фундамента.

Экономический эффект от применения грунтонасоса получен в результате:

- ✓ полной механизации процесса восстановления проектной отметки фундамента и устранения его крена, возникших при неравномерной осадке здания;

- ✓ обеспечение работы фундамента как макрорегулятора для регулирования осадки и крена фундамента и управления посредством этого напряженным состоянием сооружения, опирающегося на фундаменты с регулируемой осадкой;

- ✓ уменьшение расхода материала при строительстве на просадочных грунтах, так как не требуется устраивать мощные материалоемкие фундаменты;

- ✓ фундаменты будут выполнены со значительным снижением материалоемкости, а стабильность напряженного состояния сооружения будет поддержана регулировкой осадки и крена фундаментов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные стальные подкрановые конструкции обеспечивают интенсивную эксплуатацию в течение 25–30 лет. Это достигнуто за счёт применения новой формы подкрановой конструкции – трубчатой, обладающей амортизирующими свойствами и большими (по сравнению с двутаврами) моментами сопротивления при изгибе и кручении. Применение эллиптического профиля позволяет убрать верхний поясной сварной шов от места приложения динамических локальных воздействий, возникающих от колёс крана и уменьшить концентраторы напряжения в верхней зоне, сводя их к единице.

Конструктивная форма подкрановых балок является основным фактором, влияющим на их выносливость и долговечность. Разработанные аналитические зависимости позволили повысить моменты сопротивления эллиптических трубчатых профилей до своего максимума. На основании полученных зависимостей составлен сортамент эллиптических труб.

Реализована идея совместной работы двух параллельных подкрановых конструкций по средним рядам колонн и доказана эффективность их совместной работы, получены аналитические зависимости для параллельных рельсовых путей, позволяющие значительно повысить долговечность конструкций с одновременным понижением материалоемкости на 20...25 %.

Внедрены новые способы и технология восстановления проектного положения подкрановой конструкции посредством лёгких монтажных домкратов без применения кранового оборудования. Эти способы повысили долговечность и ремонтпригодность. Одновременно наблюдается значительная экономия из-за выполнения работ без остановки технологического процесса и механизации процесса рихтовки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технические условия проектирования стальных конструкций зданий металлургических заводов с тяжелым режимом работы [Текст]: ТУ-104-53. – М.: Стройиздат, 1953.
2. Обследовать состояние металлоконструкций объектов комбината и выдать техническую документацию по его усилению [Текст]: отчёт о НИР / К.К. Нежданов. – Пенза: ПИСИ, 1990. – 146 с. – № Гос. рег. 01900059585.
3. Нежданов, К.К. О повышении долговечности стальных подкрановых балок [Текст] / К.К. Нежданов // Общие вопросы строительства. Отечественный опыт: реф. сб. ЦИНИС Госстроя СССР. – М., 1974. – № 2. – С. 52–57.
4. Способ проката двутаврового профиля сечения из низколегированной стали [Текст]: пат. 2486972 Рос. Федерация / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, И.Н. Гарькин; заявитель и патентообладатель ПГУАС. – Заявл. 10.07.2013.
5. Нежданов, К.К. Способ проката двутаврового профиля сечения из низколегированной стали [Текст] / К.К. Нежданов, И.Н. Гарькин // Строительная механика и расчёт сооружений. – М.: ЦНИСК им. В.А. Курченко. – 2011. – № 4. – С. 51–55.
6. Нежданов, К.К. Сортамент улучшенных двутавровых профилей [Текст] / К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин // Отраслевые аспекты технических наук. – М.: изд. ИНГН. – 2012. – № 4(16). – С. 3–4.
7. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Сортамент [Текст]: ГОСТ 26020-83. – Переиздание. – М.: Госстандарт России, 1998. – 9 с.
8. Двутавровый прокатный профиль [Текст]: пат. 2383401 Рос. Федерация В21В 1/08 / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, А.М. Эйдлин; заявитель и патентообладатель ПГУАС. – № 2007136405/02; заявл. 10.04.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 7.
9. Стальные конструкции [Текст]: СНиП II-23-81\*. – Введ. 1982–01–01. – М.: Госстрой СССР, 1999. – 96 с.
10. Писаренко, Г.С. Справочник по сопротивлению материалов [Текст]: учеб. для вузов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: «Наукова думка», 1975. – 704 с.
11. Арутюнян, Н.Х. Кручение упругих тел [Текст] / Н.Х. Арутюнян, Б.Л. Абрамян. – М.: Физико-математическая литература, 1963. – 687 с.
12. Сахновский, М.М. Справочник конструктора строительных сварных конструкций [Текст] / М.М. Сахновский. – Днепропетровск: Издательство Промінь, 1975. – 480 с.

13. Васильченко, В.Т. Справочник конструктора металлических конструкций [Текст] / В.Т. Васильченко, А.Н. Рутман, Е.П. Лукьяненко. – Киев: Будивильник, 1981. – 512 с.

14. Нежданов, К.К. Совершенствование подкрановых конструкций и методов их расчёта [Текст]: моногр. / К.К. Нежданов. – Пенза: ПГУАС, 2008. – 288 с.

15. Нежданов, К.К. Исследование проблем выносливости подкрановых балок [Текст]: моногр. / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 120 с.

16. Способ и устройство для неподвижного соединения [Текст]: пат. 2114328 Рос. Федерация / К.К. Нежданов, А.В. Васильев, В.А. Калмыков, А.К. Нежданов; заявитель и патентообладатель ПГАСА; зарег. 27.06.1998, Бюл. № 18.

17. Беленя, Е.И. Металлические конструкции [Текст]: учеб. для студ. высш. учебн. заведений / Е.И. Беленя, В.С. Игнатъева [и др.]; под ред. Ю.И. Кудишина. – 9-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 688 с.

18. Грефе, Р. Владимир Григорьевич Шухов 1853–1939. Искусство конструкции [Текст] / под редакцией Р. Грефе, М.М. Гаппоева, О. Перчи; пер. с нем. Л.М. Глотова, М.М. Гаппоева. – М.: Мир, 1984.

19. Хомутильников, Н.И. Металлические конструкции промышленных зданий [Текст] / Н.И. Хомутильников, К.Д. Морозов. – Л.-М.: Госстройиздат, 1933. – 536 с.

20. Муханов, К.К. Металлические конструкции [Текст] / К.К. Муханов. – М.: Стройиздат, 1978. – 512 с.

21. Нежданов, К.К. Сборный амортизирующий арочный крановый рельс [Текст] / К.К. Нежданов, И.Н. Гарькин, Д.А. Мягков // Отраслевые аспекты технических наук. – М.: Изд. ИНГН, 2011. – № 5. – С. 3–4.

22. Нежданов, К.К. Крановый трапецеидальный рельс [Текст] / К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин // Московское научное обозрение. – М.: Изд. ИНГН, 2012. – № 6(22). – С. 14–17.

23. Рельсобалочный блок конструкций для параллельных рельсовых путей [Текст]: пат. № 2288886 Рос. Федерация: МПК В66С 6/00, В66С 7/08 / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.А. Кузьмишкин, А.К. Нежданов; заявитель и патентообладатель ПГУАС. – № 2005103893/11; заявл. 14.02.2005; опубл. 10.12.2006, Бюл. № 34. – 14 с: ил.

24. Нежданов, К.К. Снижение локальных напряжений в подкрановой балке гофрированием стенки [Текст] / К.К. Нежданов // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1989. – № 4. – С. 9–11.

25. Нежданов, К.К. О механизме «колесо, рельс и подкрановая балка», генерирующим динамические импульсы. Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции [Текст]: матер.

третьей Всерос. конф.; ч. 1. / К.К. Нежданов, В.А. Туманов. – Чебоксары: Изд-во чуваш. ун-та, 2001. – С. 42–45.

26. Нежданов, К.К. Арочные профили рельсов. Долговечные рельсобалочные конструкции [Текст] / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, И.В. Попченков. – М.: Госстрой России, 2001. – 118 с. – Деп. в ФГУП ВНИИТПИ. – № 11828.

27. Соединение рельсов с трубчатым поясом подкраново-подстропильной балки [Текст]: пат. 2232126 Рос. Федерация: МПК В 66 С 7/08, 6/00 / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин; заявитель и патентообладатель ПГУАС. – № 2002112425; заявл. 08.05.2002; опубл. 10.07.2004, Бюл. № 19.

28. Кузьмишкин, А.А. Соединение рельсов с трубчатым поясом подкрановой балки [Текст] / А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин // Новый университет. – Йошкар-Ола: Изд. Коллоквиум, 2012. – № 3.

29. Кикин, А.И. Исследование подкранового пути на низко модульных прокладках [Текст] / А.И. Кикин, А.Ф. Сабуров // Промышленное строительство. – 1975. – № 8.

30. Сабуров, В.Ф. Закономерности усталостных повреждений и разработка методов расчётной оценки долговечности подкрановых путей производственных зданий [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.Ф. Сабуров. – Челябинск: ЮУрГУ, 2002. – 40 с.

31. Нежданов, К.К. Узел упругого соединения трехглавого рельса с подкрановой балкой [Текст]: информационный листок № 09-05 / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.А. Кузьмишкин. – Пенза: Пензенский ЦНТИ, 2004.

32. Кузьмишкин, А.А. Крановый трапецеидальный рельс [Текст] / А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин // Московское научное обозрение. – М., Изд. ИНГН, 2012. – № 4(20). – Ч. 1. – С. 12–14.

33. Нежданов, К.К. Узел сопряжения тормозной и подкрановой балки [Текст] / К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, Д.В. Шматов, И.Н. Гарькин // Московское научное обозрение. – М., Изд. ИНГН, 2012. – № 7 (23). – Ч. 1. – С. 6–9.

34. Мельников, Н.П. Металлические конструкции [Текст]: справ. проектировщика; под ред. Н.П. Мельникова. – Изд. 2-е. – М.: Стройиздат, 1980. – 776 с.

35. Брауде, В.И. Справочник по кранам. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчетов кранов, их приводов и металлических конструкций [Текст]: в 2 т. / В.И. Брауде [и др.]; под общ. ред. М.М. Гохберга. – М.: Машиностроение, 1988. – Т. 1. – 536 с.

36. Сахнавский, М.М. Технологичность строительных сварных стальных конструкций [Текст] / М.М. Сахнавский. – 3-е изд., перераб. и доп. – Киев: Будівельник, 1980. – 263 с.

37. Устройство для крепления рельсов подкрановых путей [Текст]: а.с. 441384 СССР / М.М. Бердичевский, А.И. Киневский. – 1975. – Бюл. № 32.

38. Рельсобалочная конструкция [Текст]: пат. 2191155 Рос. Федерация: В 66 С 6/00, 7/08 / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.К. Нежданов; заявитель и патентообладатель ПГАСА; зарег. 17.10.2000; опубл. 20.10.2002, Бюл. № 29.

39. Рельсовый блок [Текст]: пат. 2216621 Рос. Федерация: E01B23/00 B66C7/00 / К.К. Нежданов, А.В. Туманов, А.К. Нежданов; заявитель и патентообладатель ПГАСА; зарег. 29.01.2001; опубл. 20.11.2003, Бюл. № 32.

40. Нежданов, К.К. Трёхглавый рельсовый блок для подкрановых балок [Текст] / К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – Пенза: ПГУАС, 2012. – № 1. – С. 66–68.

41. Нежданов, К.К. Узел соединения арочного рельса с трубчатым поясом подкраново-подстропильной балки [Текст]: пат. 2234453 Рос. Федерация В 66 С 7/00 / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, В.А. Туманов; заявитель и патентообладатель ПГАСА; зарег. 16.07.2002; опубл. 20.08.2004, Бюл. № 23.

42. Способ замены кранового рельса [Текст]: а. с. 0358248 СССР: М. Кл. В66С 7/08 / К.К. Нежданов, И.Н. Мишанин, Г.Б. Иллюстров. – 1972. – Бюл. № 33.

43. Автоматическое устройство для захвата и продольного перемещения кранового рельса [Текст]: а. с. 0678012 СССР: М. Кл., В 66 С 1/42 / К.К. Нежданов. – 1979. – Бюл. № 29.

44. Устройство для регулирования напряжений рельсовых креплений [Текст]: пат. 922220 Рос. Федерация: У 01 В 29/24 В 66 С 7/08 / К.К. Нежданов [и др.]; заявл. 14.02.79; опубл. 23.04.1982, Бюл. № 15.

45. Золотарский, А.Ф. Железнодорожный путь на железобетонных шпалах [Текст] / А.Ф. Золотарский [и др.]; ред. А.Ф. Золотарский. – М.: Изд. Транспорт, 1967.

46. Пособие по проектированию стальных конструкций [Текст]: к СНиП II-23-81\*. – М., 1989.

47. Туманов, В.А. Система управления выносливостью стальных подкрановых конструкций интенсивной нагруженности [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / В.А. Туманов. – Пенза: ПГУАС, 2004.

48. Рельсобалочная конструкция [Текст]: пат. 2192381 Рос. Федерация: В66С6/00, В66С7/08 / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.К. Нежданов, М.А. Карев; заявитель и патентообладатель ПГАСА; зарег. 19.07.2000; опубл. 10.11.2002, Бюл. № 31.

49. Способ усиления параллельных подкрановых балок [Текст]: пат. 2128620 Рос. Федерация В 66 С 7/00 / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, Е.Н. Тамбовцев; заявитель и патентообладатель ПГАСИ; зарег. 09.07.1996; опубл. 10.04.1999, Бюл. № 10.

50. Способ и устройство для неподвижного соединения [Текст]: пат. 2114328 Рос. Федерация / К.К. Нежданов, А.В. Васильев, В.А. Калмыков, А.К. Нежданов; заявитель и патентообладатель ПГАСА; зарег. 27.06.1998, Бюл. № 18.

51. Арочный рельс [Текст]: пат. 2208570 Рос. Федерация В 66 С 6/00, В 66 С 7/08 / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.К. Нежданов; заявитель и патентообладатель В.А. Туманов; зарег. 06.07.2001; опубл. 20.07.2003, Бюл. № 20.

52. Соединение рельсов с трубчатым поясом подкраново-подстропильной балки [Текст]: пат. 2232126 Рос. Федерация: В66С7/08, В66С6/00 / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин; заявитель и патентообладатель ПГАСА; зарег. 08.05.2002; опубл. 10.07.2004.

53. Нежданов, К.К. Совершенствование подкрановых конструкций и методов их расчета [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / К.К. Нежданов. – Пенза, 1992. – 349 с.

54. Нежданов, К.К. Рельсобалочная конструкция [Текст]: пат. 2191154 Рос. Федерация В 66 С 6/00 С 7/00 / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.К. Нежданов, М.А. Карев; заявитель и патентообладатель ПГАСА; заявл. 19.07.2000; опубл. 20.10.2002, Бюл. № 29.

55. Нежданов, К.К. Подкрановая транспортная конструкция [Текст]: пат. 2192383 Рос. Федерация В66С6/00, В66С7/08 / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.К. Нежданов, М.А. Карев; заявитель и патентообладатель ПГАСА; заявл. 19.07.2000; опубл. 10.11.2002, Бюл. № 31.

56. Нежданов, К.К. Крановый рельс [Текст]: пат. 2189934 Рос. Федерация В66С6/00, В66С7/08 / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, В.А. Туманов; заявитель и патентообладатель ПГАСА; заявл. 03.07.2000; опубл. 27.09.2000, Бюл. № 27.

57. Нежданов, К.К. Крановый рельс для трубчатых подкрановых путей [Текст]: пат. 2151731 Рос. Федерация В 66 С 7/00 / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, И.В. Попченков; заявитель и патентообладатель ПГАСА; заявл. 21.09.1998, опубл. 27.06.2000, Бюл. № 18.

58. Правила производства и приёмки работ. Металлические конструкции [Текст]: СНиП III-1-75. – Ч. III. – Гл. 18. – М.: Стройиздат, 1976. – 160 с.

59. Нежданов, К.К. Способ управления неравномерными осадками здания на ленточных фундаментах [Текст]: пат. 2319810 Рос. Федерация / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, М.А. Карев, П.В. Куничкин; заявитель и патентообладатель ПГУАС; заявл. 20.09.2005; опубл. 20.03.2008, Бюл. № 8.

60. Гарькин, И.Н. Метод устранения неравномерных осадок промышленных зданий на ленточных фундаментах [Текст]: сб. науч.-исслед. работ II Междунар. молод. Интел. Ассамблеи / И.Н. Гарькин, М.В. Глухова. – Чебоксары: НИИ педагогики и психологии, 2011. – С. 128–130.

61. Нежданов, К.К. Способ управления перемещениями, осадками и креном сооружения фундаментами на сваях, являющимися макрорегуляторами [Текст]: пат. 2416696 Рос. Федерация E02D35/00 / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, К.И. Каледин; заявитель и патентообладатель ПГУАС; заявл. 21.07.2008; опубл. 20.4.2011, Бюл. № 11.

62. Нежданов, К.К. Способ управления осадками осевшего фундамента [Текст]: пат. 2230157 Рос. Федерация E 02 D 35 / 00 E 02 D 37 / 00 / К.К. Нежданов А.К., Нежданов, П.А. Кострыкин, В.А. Туманов; заявитель и патентообладатель В.А. Туманов; заявл. 16.07.2002; опубл. 10.06.2004, Бюл. № 16.

63. Нежданов, К.К. Узел соединения двухветвевой внецентренно нагруженной колонны и способ восстановления проектной отметки фундамента [Текст]: пат. 119942 Рос. Федерация / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.К. Нежданов, П.А. Кострыкин; заявитель и патентообладатель ПГАСА; заявл. 22.07.2002; опубл. 20.09.2004.

64. Нежданов, К.К. Способ рихтовки неразрезных подкрановых балок [Текст] / К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин // Молодой ученый. – 2013. – № 6 (53). – С. 99–102.

65. Нежданов, К.К. Способ рихтовки разрезных подкрановых балок [Текст]: пат. 2235675 Рос. Федерация B66C7/00 B66C7/00 / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин; заявитель и патентообладатель ПГАСА; заявл. 17.12.2001; опубл. 10.09.2004, Бюл. № 25.

66. Кузьмишкин, А.А. Подкрановые балки: восстановление проектного положения [Текст] / А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин // Московское научное обозрение. – М.: Изд. ИНГН, 2012. – №7 (23). – Ч. 1. – С. 6–9.

67. Нежданов, К.К. Грунтонасос [Текст]: пат. 2228408 Рос. Федерация E02D35/00 F04B15/00 / К.К. Нежданов, В.А. Туманов, А.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин; заявитель и патентообладатель ПГАСА; заявл. 11.06.2002; опубл. 10.05.2004, Бюл. № 13.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

### Сортамент новых широкополочных профилей с постоянной гибкостью стенки (65) из низколегированной стали

Название	$A$ , см <sup>2</sup>	$m$ , кг/м	$h$ , см	$b$ , см	$t_{пв}$ , см	$t_{ст}$ , см	$h_{ст}$ , см	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$S_x$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$I_y$ , см
ЛГ'20Ш1	39,07	30,67	36,88	15	0,65	0,55	35,58	8464,1	366,1	459	48,82	263,7	14,72	3,06
ЛГ'23Ш1	46,17	36,24	40,19	15,5	0,74	0,6	38,71	11827	460	588,5	59,35	338,6	16,01	3,16
ЛГ'26Ш1	54,68	42,92	43,55	18	0,76	0,65	42,03	16547	739,7	759,9	82,19	436,2	17,4	3,68
ЛГ'26Ш2	62,47	49,04	46,89	18	0,87	0,69	45,15	21877	846,9	933,1	94,1	536,2	18,71	3,68
ЛГ'30Ш1	67,93	53,33	48,83	20	0,85	0,72	47,13	25851	1135	1059	113,5	607,7	19,51	4,09
ЛГ'30Ш2	77,48	60,83	52,18	20	0,97	0,77	50,24	33578	1295	1287	129,5	739,7	20,82	4,09
ЛГ'30Ш3	87,2	68,45	55,35	20	1,09	0,82	53,17	42367	1456	1531	145,6	881,2	22,04	4,09
ЛГ'35Ш1	95,94	75,32	57,67	25	0,96	0,86	55,75	51014	2503	1769	200,2	1015	23,06	5,11
ЛГ'35Ш2	105	82,42	60,43	25	1,05	0,9	58,33	61168	2738	2024	219	1162	24,14	5,11
ЛГ'40Ш2	141,4	111	70,2	30	1,18	1,04	67,84	111386	5316	3173	354,4	1820	28,07	6,13
ЛГ'40Ш3	157,2	123,4	74,1	30	1,31	1,1	71,48	137603	5903	3714	393,5	2133	29,58	6,13
ЛГ'50Ш1	145,6	114,3	71,24	30	1,21	1,06	68,82	117812	5452	3307	363,5	1899	28,45	6,12
ЛГ'50Ш2	176,8	138,8	78,7	30	1,47	1,17	75,76	173928	6625	4420	441,7	2542	31,36	6,12
ЛГ'50Ш3	199,4	156,5	83,78	30	1,66	1,24	80,46	221765	7483	5294	498,9	3048	33,35	6,13
ЛГ'50Ш4	222,2	174,4	88,58	30	1,85	1,31	84,88	275528	8341	6221	556,1	3587	35,21	6,13
ЛГ'60Ш1	180,8	141,9	79,55	32	1,41	1,18	76,73	182185	7711	4580	481,9	2631	31,75	6,53
ЛГ'60Ш2	225,6	177,1	89,09	32	1,76	1,32	85,57	283714	9628	6369	601,8	3667	35,46	6,53
ЛГ'60Ш3	262,2	205,8	96,33	32	2,05	1,42	92,23	384433	11218	7982	701,1	4602	38,29	6,54
ЛГ'60Ш4	297,8	233,8	103,1	32	2,33	1,51	98,46	498890	12753	9676	797,1	5587	40,93	6,54
ЛГ'70Ш1	216,3	169,8	87,24	32	1,69	1,29	83,86	261324	9245	5991	577,8	3447	34,76	6,54
ЛГ'70Ш2	251,8	197,7	94,38	32	1,97	1,39	90,44	354896	10779	7521	673,7	4334	37,54	6,54
ЛГ'70Ш3	299,8	235,3	103,4	32	2,34	1,52	98,71	504200	12808	9753	800,5	5635	41,01	6,54
ЛГ'70Ш4	341,6	268,1	110,7	32	2,67	1,62	105,4	656557	14619	11862	913,7	6863	43,84	6,54

Сортамент эффективных прокатных профилей

№ про- филя	h, см	A <sub>2</sub> , см <sup>2</sup>	q, кг/м	Ось х-х			Ось у-у			Размеры, см					I <sub>пер</sub> , см <sup>4</sup>		
				I <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x3</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см	I <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y3</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> , см	t <sub>заг</sub> =1,5t <sub>св</sub> , см	b <sub>св</sub> , см	t <sub>св</sub> =t <sub>лб</sub> , см	t <sub>ст</sub> =2t <sub>лб</sub> , см	D <sub>лб</sub> , см		h <sub>ст</sub> , см	
20ЭГ	40,60	37,1	29,1	10195	502	16,6	676	70	4,3	19,3	5,6	0,33	0,22	0,4	8,1	32,5	18,6
26ЭГ	49,26	54,6	42,8	22081	897	20,1	1464	125	5,2	23,4	6,8	0,40	0,26	0,5	9,9	39,4	40,2
30ЭГ	54,85	67,7	53,2	33947	1238	22,4	2250	172	5,8	26,1	7,6	0,44	0,29	0,6	11,0	43,9	61,9
35ЭГ	64,63	94,0	73,8	65446	2025	26,4	4338	282	6,8	30,8	8,9	0,52	0,35	0,7	12,9	51,7	119,3
40ЭГ	74,23	124,0	97,0	113885	3068	30,3	7549	427	7,8	35,3	10,2	0,60	0,40	0,8	14,8	59,4	207,6
50ЭГ	79,72	143,0	112,0	151460	3800	32,5	10039	529	8,4	37,9	11,0	0,64	0,43	0,9	15,9	63,8	276,1
60ЭГ	89,19	179,0	140,0	237318	5322	36,4	15730	741	9,4	42,4	12,3	0,72	0,48	1,0	17,8	71,4	432,6
70ЭГ	97,29	213,0	167,0	336034	6908	39,7	22273	962	10,2	46,3	13,4	0,78	0,52	1,0	19,5	77,8	612,5
80ЭГ	107,08	258,0	203,0	493019	9209	43,7	32679	1282	11,3	51,0	14,8	0,86	0,57	1,1	21,4	85,7	898,6
90ЭГ	117,37	310,0	244,0	711783	12129	47,9	47179	1689	12,3	55,9	16,2	0,94	0,63	1,3	23,5	93,9	1297,4
100ЭГ	128,05	369,0	290,0	1008503	15751	52,3	66847	2194	13,5	60,9	17,7	1,03	0,68	1,4	25,6	102,4	1838,2
110ЭГ	136,12	417,0	327,3	1287758	18920	55,6	85357	2635	14,3	64,8	18,8	1,09	0,7	1,5	27,2	108,9	2347,2
120ЭГ	143,17	461,3	362,1	1575786	22013	58,4	104448	3066	15,0	68,1	19,8	1,15	0,8	1,6	28,6	114,5	2872,2
130ЭГ	152,19	521,2	409,2	2012121	26442	62,1	133370	3682	16,0	72,4	21,0	1,22	0,8	1,6	30,4	121,8	3667,5
140ЭГ	160,07	576,6	452,6	2462166	30763	65,3	163201	4284	16,8	76,2	22,1	1,28	0,9	1,7	32,0	128,1	4487,8
150ЭГ	170,15	651,5	511,4	3143940	36953	69,5	208391	5146	17,9	81,0	23,5	1,36	0,9	1,8	34,0	136,1	5730,5
160ЭГ	177,02	705,1	553,5	3682733	41608	72,3	244104	5795	18,6	84,3	24,4	1,42	0,9	1,9	35,4	141,6	6712,5
180ЭГ	189,00	803,9	631,0	4786080	50644	77,2	317237	7053	19,9	90,0	26,1	1,52	1,0	2,0	37,8	151,2	8723,6
200ЭГ	202,00	918,2	720,8	6244386	61825	82,5	413899	8610	21,2	96,1	27,9	1,62	1,1	2,2	40,4	161,6	11381,9
220ЭГ	221,28	1101,8	864,9	8991915	81271	90,3	596014	11318	23,3	105,3	30,5	1,77	1,2	2,4	44,3	177,0	16389,9
240ЭГ	242,40	1322,2	1037,9	12948358	106834	99,0	858260	14878	25,5	115,4	33,4	1,94	1,3	2,6	48,5	193,9	23601,5

Приложение 3

Отношение основных параметров прокатных эффективных профилей к двуглавым прокатным профилям  
 Высота сечения  $h$ ; площадь сечения  $A$ ; линейная плотность  $q$ ; ширина балки  $b$

Отношение «Новый» «Старый»	$h$ ,	$A$ ,	$q$ ,	Ось $x-x$			Ось $y-y$			$b$	$I_{п.кр}$
				$I_x$ ,	$W_x$ ,	$i_x$ ,	$I_y$ ,	$W_y$ ,	$i_y$ ,		
20ЭГ/20Ш1	2,12	1,00	1,00	4,06	1,92	2,02	1,41	1,09	1,19	1,29	34,08
26ЭГ/26Ш1	1,96	1,00	1,00	3,52	1,79	1,88	1,47	1,14	1,21	1,30	48,43
30ЭГ/30Ш1	1,88	1,00	1,00	3,25	1,72	1,80	1,50	1,15	1,22	1,31	50,86
35ЭГ/35Ш1	1,91	1,00	1,00	3,28	1,72	1,81	1,30	1,06	1,14	1,23	69,23
40ЭГ/40Ш1	1,91	1,00	1,00	3,27	1,71	1,81	1,18	1,00	1,09	1,18	102,3
50ЭГ/50Ш1	1,65	1,00	1,00	2,50	1,52	1,58	1,49	1,17	1,22	1,26	86,48
60ЭГ/60Ш1	1,54	1,00	1,00	2,23	1,45	1,49	1,69	1,28	1,30	1,33	62,32
70ЭГ/70Ш1	1,42	1,00	1,00	1,96	1,37	1,40	2,12	1,46	1,46	1,45	46,07
80ЭГ/80Ш1	1,37	1,00	1,00	1,86	1,35	1,36	1,95	1,58	1,40	1,50	46,16
90ЭГ/90Ш1	1,33	1,00	1,00	1,77	1,33	1,33	2,63	1,69	1,62	1,55	55,79
100ЭГ/100Ш1	1,31	1,00	1,00	1,71	1,30	1,31	2,50	1,64	1,58	1,52	56,63

Сортамент новых угловых профилей

Размеры уголка, мм				$A$ , см <sup>2</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$Z_0$ , мм	Ось $x-x$		Ось $x_1-x_1$	Моменты инерции $I_y$ для двух уголков при $t_1$ , см <sup>4</sup>				Моменты инерции $i_y$ для двух уголков при $t_1$ , см						
$b$	$t$	$t_{sec}$	$R$				$r$	$h$		$I_{x_1}$ , см <sup>4</sup>	$M$	$I_x$ , см <sup>4</sup>	$I_y^0$	$I_y^{10}$	$I_y^{12}$	$I_y^{14}$	$i_y^0$	$i_y^{10}$	$i_y^{12}$	$i_y^{14}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
3	2,4	23,2	20,8	28,2	1,13	0,89	9,3	0,94	1,98	3,96	6,27	6,61	6,96	1,32	1,67	1,71	1,75			
4	3,2	22,7	19,5	27,7	1,46	1,15	9,1	1,23	0,92	4,88	7,78	8,21	8,66	1,29	1,63	1,68	1,72			
3	2,4	29	26,7	35,3	1,43	1,12	11,6	2	1,18	7,84	11,78	12,27	12,79	1,66	2,03	2,07	2,11			
4	3,2	28,7	25,5	35	1,86	1,46	11,6	2,5	1,16	10	15,13	15,76	16,43	1,64	2,02	2,06	2,1			
2	3	2,4	33,1	30,7	40,1	1,62	1,27	13,4	2,92	11,66	17,14	17,76	18,4	1,9	2,3	2,34	2,38			
3	2,4	35,4	33	42,9	1,74	1,36	14,3	3,62	1,44	14,36	20,84	21,53	22,25	2,03	2,45	2,49	2,53			
4	3,2	34,8	31,6	42,3	2,27	1,78	14	4,54	1,41	17,98	26,17	27,06	27,99	1,99	2,4	2,44	2,48			
3	2,4	37,8	35,4	45,8	1,86	1,46	15,2	4,43	1,54	17,46	25,05	25,82	26,63	2,17	2,59	2,63	2,68			
4	3,2	37,2	34	45,2	2,43	1,91	15	5,55	1,51	22,04	31,76	32,76	33,8	2,13	2,56	2,6	2,64			
3	2,4	41,3	38,8	50	2,04	1,60	16,7	5,8	1,69	22,98	32,59	33,49	34,44	2,37	2,83	2,87	2,91			
4	3,2	40,8	37,6	49,6	2,67	2,10	16,4	7,38	1,66	29,12	41,35	42,52	43,74	2,34	2,78	2,82	2,86			
5	4	40,2	36,2	48,9	3,28	2,58	16,2	8,74	1,63	34,7	49,44	50,87	52,35	2,3	2,75	2,78	2,82			
3	2,4	47,6	45,2	57,6	2,35	1,85	19,3	8,89	1,94	35,28	49,16	50,32	51,53	2,74	3,23	3,27	3,31			
4	3,2	47	43,8	57	3,08	2,42	19	11,3	1,92	44,84	62,58	64,09	65,66	2,7	3,19	3,23	3,26			
5	4	46,4	42,4	56,4	3,79	2,98	18,7	13,49	1,89	53,48	74,77	76,6	78,51	2,66	3,14	3,18	3,22			
3	2,4	53,7	51,3	65	2,65	2,08	21,8	12,8	2,2	50,78	69,81	71,26	72,76	3,1	3,63	3,67	3,71			
4	3,2	53,2	53	64,2	3,48	2,73	21,4	16,3	2,16	64,48	88,73	90,61	92,55	3,04	3,57	3,61	3,65			
5	4	52,3	48,3	63,6	4,29	3,37	21,1	19,48	2,13	77,16	106,38	108,67	111,03	3	3,52	3,56	3,6			

Приложение 5

Таблица 1 П5

Сортамент эллиптических трубчатых профилей

D, мм	A, см <sup>2</sup>	t, см	a, см	b, см	I <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	r <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	I <sub>кр</sub> , см <sup>4</sup>	S <sub>1/2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
325	60,13	0,60	23,93	7,97	12910,4	532,9	1142,2	138,0	14,7	4,4	1688,8	381,6
325	69,93	0,70	23,85	7,95	14922,4	616,6	1309,8	157,8	14,6	4,3	1945,6	442,4
325	79,67	0,80	23,78	7,93	16895,7	698,9	1471,3	176,7	14,6	4,3	2195,5	502,5
325	89,35	0,90	23,70	7,90	18830,8	779,7	1626,8	194,8	14,5	4,3	2438,7	561,8
326	50,42	0,50	24,08	8,02	10961,4	450,6	977,4	118,1	14,7	4,4	1438,7	322,0
326	60,32	0,60	24,00	8,00	13032,2	536,3	1153,1	138,9	14,7	4,4	1704,9	384,0
326	70,15	0,70	23,93	7,97	15063,6	620,5	1322,5	158,9	14,7	4,3	1964,1	445,2
326	79,92	0,80	23,85	7,95	17056,1	703,3	1485,6	177,9	14,6	4,3	2216,5	505,7
326	89,63	0,90	23,78	7,92	19010,0	784,7	1642,6	196,1	14,6	4,3	2462,1	565,3
326	99,27	1,00	23,70	7,90	20926,0	864,7	1793,7	213,5	14,5	4,3	2701,1	624,2
326	108,86	1,10	23,63	7,87	22804,5	943,3	1938,9	230,1	14,5	4,2	2933,4	682,3
326	118,38	1,20	23,55	7,85	24645,8	1020,5	2078,4	246,0	14,4	4,2	3159,2	739,6
480	74,61	0,50	35,63	11,88	35513,2	989,9	3205,8	264,4	21,8	6,6	4685,1	705,1
480	89,35	0,60	35,55	11,85	42348,8	1181,3	3803,1	313,0	21,8	6,5	5574,8	842,6
480	104,02	0,70	35,48	11,83	49097,1	1370,5	4386,2	360,3	21,7	6,5	6449,0	978,8
480	118,63	0,80	35,40	11,80	55758,6	1557,5	4955,3	406,2	21,7	6,5	7307,9	1114,0
480	133,17	0,90	35,33	11,78	62334,2	1742,4	5510,5	450,8	21,6	6,4	8151,6	1247,9

Продолжение прил. 5

Продолжение табл. 1П5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
480	147,65	1,00	35,25	11,75	68824,5	1925,2	6052,1	494,0	21,6	6,4	8980,2	1380,7
480	162,07	1,10	35,18	11,73	75230,1	2105,8	6580,1	536,1	21,5	6,4	9793,9	1512,3
480	176,43	1,20	35,10	11,70	81551,9	2284,4	7094,8	576,8	21,5	6,3	10592,8	1642,8
530	98,77	0,60	39,30	13,10	57212,5	1444,8	5153,0	384,6	24,1	7,2	7540,7	1029,7
530	115,01	0,70	39,23	13,08	66368,9	1677,0	5949,7	443,2	24,0	7,2	8730,3	1196,7
530	131,19	0,80	39,15	13,05	75419,0	1906,9	6729,1	500,3	24,0	7,2	9901,1	1362,5
530	147,31	0,90	39,07	13,03	84363,6	2134,4	7491,5	556,0	23,9	7,1	11053,2	1526,9
530	163,36	1,00	39,00	13,00	93203,6	2359,6	8237,0	610,1	23,9	7,1	12186,9	1690,1
530	179,35	1,10	38,93	12,98	101939,6	2582,4	8965,8	662,9	23,8	7,1	13302,1	1852,0
530	195,28	1,20	38,85	12,95	110572,4	2802,8	9678,2	714,3	23,8	7,0	14399,2	2012,6
630	117,62	0,60	46,80	15,60	96613,6	2051,2	8740,6	549,7	28,7	8,6	12757,6	1460,2
630	137,00	0,70	46,72	15,58	112177,7	2383,0	10108,9	634,8	28,6	8,6	14788,4	1698,1
630	156,33	0,80	46,65	15,55	127590,4	2711,8	11452,5	718,0	28,6	8,6	16792,4	1934,5
630	175,58	0,90	46,57	15,53	142852,7	3037,8	12771,7	799,5	28,5	8,5	18769,8	2169,3
630	194,78	1,00	46,50	15,50	157965,6	3361,0	14066,6	879,2	28,5	8,5	20720,8	2402,6
630	213,91	1,10	46,43	15,48	172929,8	3681,3	15337,6	957,1	28,4	8,5	22645,5	2634,3
630	232,98	1,20	46,35	15,45	187746,4	3998,9	16584,8	1033,3	28,4	8,4	24544,1	2864,6
720	156,80	0,70	53,48	17,83	168151,7	3124,0	15205,3	836,6	32,7	9,8	22199,5	2224,1

Продолжение прил. 5

Продолжение табл. 1П5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
720	178,95	0,80	53,40	17,80	191370,2	3557,1	17245,4	947,5	32,7	9,8	25228,4	2534,8
720	201,03	0,90	53,33	17,78	214391,0	3986,8	19253,3	1056,4	32,7	9,8	28222,3	2843,6
720	223,05	1,00	53,25	17,75	237215,2	4413,3	21229,2	1163,2	32,6	9,8	31181,4	3150,7
720	245,01	1,10	53,18	17,73	259843,9	4836,6	23173,4	1268,0	32,6	9,7	34105,9	3456,0
720	266,91	1,20	53,10	17,70	282278,0	5256,6	25086,2	1370,8	32,5	9,7	36996,1	3759,6
820	178,79	0,70	60,98	20,33	249285,6	4065,0	22607,9	1093,5	37,3	11,2	32951,2	2891,8
820	204,08	0,80	60,90	20,30	283852,7	4630,5	25665,4	1239,9	37,3	11,2	37473,1	3296,8
820	229,30	0,90	60,82	20,27	318162,0	5192,4	28680,9	1383,9	37,2	11,2	41949,3	3699,7
820	254,47	1,00	60,75	20,25	352214,9	5750,4	31654,5	1525,5	37,2	11,2	46380,2	4100,7
820	279,57	1,10	60,68	20,23	386012,5	6304,8	34586,6	1664,8	37,2	11,1	50765,8	4499,7
820	304,61	1,20	60,60	20,20	419556,0	6855,5	37477,4	1801,8	37,1	11,1	55106,5	4896,6
820	329,58	1,30	60,52	20,18	452846,6	7402,5	40327,4	1936,5	37,1	11,1	59402,4	5291,6
820	354,50	1,40	60,45	20,15	485885,4	7945,8	43136,7	2068,9	37,0	11,0	63653,9	5684,5
1020	254,34	0,80	75,90	25,30	549484,3	7201,6	49918,2	1942,3	46,5	14,0	72684,1	5120,8
1020	285,85	0,90	75,82	25,27	616346,8	8080,6	55857,4	2171,3	46,4	14,0	81446,1	5749,5
1020	317,30	1,00	75,75	25,25	682809,1	8954,9	61731,1	2397,3	46,4	13,9	90137,2	6375,7
1020	348,69	1,10	75,68	25,23	748872,8	9824,5	67539,6	2620,4	46,3	13,9	98757,7	6999,4
1020	380,01	1,20	75,60	25,20	814539,4	10689,5	73283,3	2840,4	46,3	13,9	107307,9	7620,6

Продолжение прил. 5

Продолжение табл. 1П5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1020	411,27	1,30	75,52	25,18	879810,3	11549,9	78962,6	3057,6	46,3	13,9	115788,0	8239,3
1020	442,46	1,40	75,45	25,15	944687,0	12405,6	84577,9	3271,9	46,2	13,8	124198,4	8855,5
1120	279,48	0,80	83,40	27,80	728995,2	8699,2	66339,9	2352,5	51,1	15,4	96498,6	6182,8
1120	314,13	0,90	83,32	27,77	817917,4	9763,3	74269,0	2631,3	51,0	15,4	108170,1	6943,1
1120	348,72	1,00	83,25	27,75	906355,8	10822,2	82118,7	2906,9	51,0	15,3	119755,9	7700,7
1120	383,24	1,10	83,18	27,73	994311,9	11875,9	89889,4	3179,1	50,9	15,3	131256,2	8455,5
1120	417,71	1,20	83,10	27,70	1081787,4	12924,6	97581,5	3448,1	50,9	15,3	142671,3	9207,6
1120	452,11	1,30	83,02	27,68	1168784,0	13968,1	105195,5	3713,9	50,8	15,3	154001,6	9957,0
1120	486,44	1,40	82,95	27,65	1255303,2	15006,6	112731,8	3976,4	50,8	15,2	165247,4	10703,5
1220	342,40	0,90	90,82	30,27	1059244,9	11605,0	96337,9	3135,5	55,6	16,8	140180,8	8249,2
1220	380,13	1,00	90,75	30,25	1174036,9	12866,2	106563,3	3465,5	55,6	16,7	155241,4	9150,7
1220	417,80	1,10	90,68	30,23	1288255,1	14121,7	116694,7	3791,9	55,5	16,7	170200,4	10049,2
1220	455,41	1,20	90,60	30,20	1401901,4	15371,7	126732,4	4114,7	55,5	16,7	185058,0	10944,6
1220	492,95	1,30	90,52	30,18	1514977,4	16616,1	136676,8	4434,0	55,4	16,7	199814,6	11837,1
1220	530,43	1,40	90,45	30,15	1627484,9	17855,0	146528,6	4749,7	55,4	16,6	214470,5	12726,5
1320	370,68	0,90	98,33	32,78	1343907,6	13605,7	122395,5	3683,8	60,2	18,2	177955,1	9667,9
1320	411,55	1,00	98,25	32,75	1489828,6	15086,9	135433,2	4073,2	60,2	18,1	197124,1	10725,7
1320	452,36	1,10	98,17	32,72	1635076,2	16561,9	148360,4	4458,6	60,1	18,1	216173,7	11780,3
1320	493,10	1,20	98,10	32,70	1779652,5	18030,9	161177,5	4840,2	60,1	18,1	235104,3	12831,6

Окончание прил. 5

Окончание табл. 1 П5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1320	533,79	1,30	98,02	32,68	1923559,4	19493,9	173885,1	5217,9	60,0	18,0	253916,2	13879,7
1320	574,41	1,40	97,95	32,65	2066798,8	20950,8	186483,5	5591,7	60,0	18,0	272609,9	14924,5
1420	442,96	1,00	105,75	35,25	1857706,9	17484,3	169096,5	4730,0	64,8	19,5	245933,9	12425,7
1420	486,92	1,10	105,67	35,22	2039148,9	19196,5	185291,6	5179,4	64,7	19,5	269759,1	13648,9
1420	530,80	1,20	105,60	35,20	2219812,3	20902,2	201358,9	5624,5	64,7	19,5	293446,2	14868,6
1420	574,63	1,30	105,53	35,18	2399699,0	22601,4	217298,9	6065,6	64,6	19,4	316995,7	16084,8
1420	618,39	1,40	105,45	35,15	2578811,3	24294,0	233112,1	6502,4	64,6	19,4	340407,9	17297,5
1420	662,09	1,50	105,38	35,13	2757151,1	25980,2	248799,1	6935,2	64,5	19,4	363683,3	18506,8

Приложение 6

Сортамент новых колонных профилей равной устойчивости относительно осей X и Y ( $i_x = i_y$ )

Название	A, см <sup>2</sup>	m, кг/м	h, см	b, см	t <sub>п</sub> , см	t <sub>ст</sub> , см	h <sub>ст</sub> , см	Δ, %	J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	J <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	S <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	i <sub>x</sub> , см
P11Ш1	11	8,63	6,68	11,3	0,39	0,37	5,9	0,2	93,62	93,81	28,03	16,6	15,47	2,92
P12Ш1	12,99	10,2	7,29	12,32	0,42	0,41	6,45	0,38	131,43	130,93	36,06	21,26	19,91	3,18
P13Ш1	15,47	12,14	7,95	13,45	0,46	0,44	7,03	0,05	186,5	186,59	46,92	27,75	25,89	3,47
P14Ш1	18,64	14,63	8,68	14,67	0,51	0,48	7,66	0,16	268	268,43	61,75	36,6	34,08	3,79
P16Ш1	22,05	17,31	9,47	16,01	0,55	0,53	8,37	0,1	376,65	376,27	79,55	47	43,91	4,13
P17Ш1	26,26	20,61	10,33	17,47	0,6	0,58	9,13	0,05	533,59	533,33	103,31	61,06	57,04	4,51
P19Ш1	31,43	24,67	11,27	19,06	0,66	0,63	9,95	0,16	760,69	761,87	134,99	79,94	74,53	4,92
P20Ш1	37,43	29,38	12,3	20,79	0,72	0,69	10,86	0	1078,57	1078,61	175,38	103,76	96,84	5,37
P22Ш1	44,29	34,77	13,42	22,69	0,78	0,75	11,86	0,06	1519,88	1519,03	226,51	133,89	125,04	5,86
P20K1	52,69	41,36	14,64	24,75	0,85	0,82	12,94	0,12	2150,88	2148,39	293,84	173,61	162,22	6,39
P20K2	59,86	46,99	15,57	26,32	0,91	0,87	13,75	0,02	2765,52	2766,09	355,24	210,19	196,12	6,8
P23K1	66,69	52,35	16,43	27,78	0,96	0,92	14,51	0,05	3429,51	3431,12	417,47	247,02	230,5	7,17
P23K2	75,68	59,41	17,54	29,65	1,02	0,98	15,5	0,08	4436,18	4432,43	505,84	298,98	279,24	7,66
P26K1	82,97	65,13	18,36	31,04	1,07	1,02	16,22	0,02	5333,44	5334,75	580,99	343,73	320,67	8,02
P26K2	92,87	72,91	19,45	32,88	1,13	1,08	17,19	0,05	6699,99	6696,37	688,95	407,32	380,23	8,49
P26K3	106,06	83,26	20,73	35,05	1,21	1,16	18,31	0,03	8683,59	8685,95	837,78	495,63	462,54	9,05
P30K1	108	84,78	20,94	35,39	1,22	1,17	18,5	0,09	9023,11	9015,07	861,81	509,47	475,77	9,14
P30K2	122,55	96,2	22,32	37,73	1,3	1,24	19,72	0,01	11642,2	11640,4	1043,2	617,04	575,78	9,75
P30K3	138,38	108,63	23,73	40,11	1,38	1,32	20,97	0,07	14856,7	14845,8	1252,1	740,25	691,11	10,36
P35K1	139,89	109,82	23,81	40,26	1,39	1,33	21,03	0,05	15113,5	15121,8	1269,5	751,21	700,85	10,39
P35K2	160,67	126,12	25,53	43,17	1,49	1,42	22,55	0,09	19967,6	19984,7	1564,3	925,86	863,43	11,15
P35K3	183,66	144,17	27,33	46,21	1,59	1,52	24,15	0	26155	26156	1914	1132,1	1056,4	11,93
P40K1	176,05	138,2	26,71	45,16	1,56	1,49	23,59	0,06	23939,1	23952,6	1792,5	1060,8	989,55	11,66
P40K2	211,31	165,88	29,26	49,47	1,71	1,63	25,84	0,07	34488,2	34513,4	2357,4	1395,3	1301,3	12,78
P40K3	258,15	202,65	32,35	54,69	1,89	1,8	28,57	0,06	51510,8	51540,8	3184,6	1884,8	1757,9	14,13
P40K4	308,1	241,86	35,39	59,83	2,06	1,97	31,27	0,02	73565,2	73551,4	4157,4	2458,7	2294,7	15,45
P40K5	370,56	290,89	38,8	65,6	2,26	2,16	34,28	0,01	106351	106362	5482	3242,7	3025,9	16,94

Приложение 7

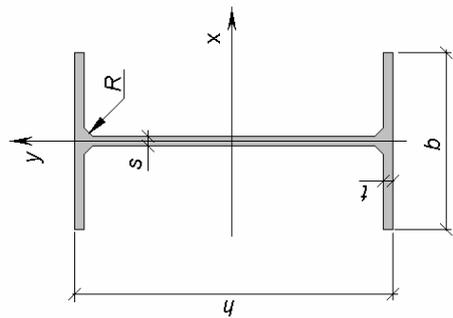
Сортамент восьмёрок, размеры в см

D	h	b <sub>0</sub>	M	t <sub>0</sub>	A	J <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	S 2	J <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	r <sub>0</sub>
32,5	96,9	16,5	97,7	0,6	124,5	96395,6	1989,6	28,3	763,2	2284,3	276,1	4,4	16,5
32,5	96,8	16,6	113,6	0,7	144,8	111754,6	2309	28,3	884,9	2619,7	315,6	4,3	16,5
42,6	127,3	21,5	107,5	0,5	136,9	183411,3	2881,6	37,2	1108	4449,6	413	5,8	21,8
42,6	127,3	21,6	118,1	0,6	150,4	201269,5	3163,4	37,2	1216	4863	450,8	5,8	21,8
48	143,5	24,3	121,2	0,5	154,4	263082,2	3666,7	42	1410	6411,6	528,8	6,6	24,6
48	143,5	24,3	133,2	0,6	169,7	288775,9	4026,2	42	1548	7012,5	577,8	6,5	24,6
53	158,4	26,8	160,5	0,6	204,5	424204,6	5356,1	46,3	2059	10306	769,1	7,2	27,1
53	158,3	26,9	186,9	0,7	238,1	493002,2	6228,7	46,3	2393	11899	886,4	7,2	27,1
63	188,4	31,8	191,1	0,6	243,5	715091,5	7591,2	55,1	2920	17481	1100	8,6	32,3
63	188,3	31,9	222,6	0,7	283,6	831576,1	8832,5	55,1	3396	20218	1270	8,6	32,2
72	215,3	36,4	254,8	0,7	324,6	1244826	11564	63	4448	30411	1673	9,8	36,9
72	215,2	36,4	290,8	0,8	370,4	1418632	13184	63	5070	34491	1895	9,8	36,8
82	245,3	41,4	290,5	0,7	370,1	1843327	15029	71,8	5784	45216	2187	11,2	42
82	245,2	41,4	331,6	0,8	422,4	2101428	17141	71,8	6594	51331	2480	11,2	42
92	275,3	46,4	326,3	0,7	415,6	2608229	18948	80,6	7294	64183	2770	12,6	47,2
92	275,2	46,4	372,5	0,8	474,5	2974237	21615	80,5	8318	72916	3143	12,6	47,2
102	305,2	51,4	413,3	0,8	526,5	4060385	26608	89,3	10242	99836	3885	14	52,3
102	305,1	51,4	464,5	0,9	591,7	4558814	29884	89,3	11499	111715	4343	14	52,3
112	335,2	56,4	454,1	0,8	578,5	5383198	32119	98,1	12366	132680	4705	15,4	57,5
112	335,1	56,5	510,4	0,9	650,2	6045091	36079	98,1	13886	148538	5263	15,4	57,4
122	365,1	61,4	556,4	0,9	708,8	7823681	42858	106,9	16499	192676	6271	16,8	62,6
122	365	61,5	617,7	1	786,9	8678471	47553	106,8	18301	213127	6931	16,7	62,5
132	395,1	66,5	602,3	0,9	767,3	9920827	50219	115,7	19336	244791	7368	18,2	67,7
132	395	66,5	668,7	1	851,9	11006142	55727	115,6	21451	270866	8146	18,1	67,7

Сортамент восьмёрок больших габаритов, размеры в см

D	h	b <sub>0</sub>	M	t <sub>0</sub>	A	J <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	S 2	J <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	r <sub>0</sub>
142	425,4	71,3	397,2	0,6	505,9	7593019	35694	124,6	13756	189246	5310	19,7	73
142	425,4	71,3	433,1	0,6	551,7	8277363	38916	124,6	14996	206055	5780	19,7	73
142	425,3	71,4	504,9	0,7	643,2	9643096	45347	124,6	17470	239478	6713	19,6	73
142	425,2	71,4	576,7	0,8	734,6	11004896	51763	124,5	19938	272642	7637	19,6	72,9
142	425,1	71,5	648,3	0,9	825,8	12362770	58164	124,5	22398	305546	8553	19,6	72,9
142	425	71,5	719,8	1	916,9	13716723	64549	124,4	24851	338193	9460	19,5	72,9
142	424,9	71,5	791,2	1,1	1008	15066763	70919	124,4	27298	370583	10359	19,5	72,8
142	424,8	71,6	862,5	1,2	1099	16412895	77274	124,3	29737	402718	11249	19,5	72,8
142	424,6	71,7	1005	1,4	1280	19093465	89936	124,2	34595	466224	13005	19,4	72,7
142	424,4	71,8	1147	1,6	1461	21758484	102538	124,2	39425	528721	14728	19,4	72,6
152	455	76,5	770,8	1	982	16839373	74019	133,2	28501	415843	10872	20,9	78
152	454,9	76,5	847,4	1,1	1079	18498505	81330	133,2	31310	455786	11908	20,9	78
152	454,8	76,6	923,8	1,2	1177	20153155	88624	133,1	34111	495436	12936	20,9	77,9
152	454,6	76,7	1076	1,4	1371	23449035	103163	133	39691	573859	14964	20,8	77,9
152	454,4	76,8	1229	1,6	1565	26727069	117637	133	45241	651121	16956	20,8	77,8
162	485	81,5	821,9	1	1047	20403251	84137	142	32401	504552	12382	22,3	83,2
162	484,9	81,5	903,5	1,1	1151	22415380	92454	142	35597	553140	13566	22,3	83,1
162	484,8	81,6	985	1,2	1255	24422412	100753	141,9	38785	601394	14740	22,3	83,1
162	484,6	81,7	1148	1,4	1462	28421217	117298	141,8	45137	696904	17060	22,2	83
162	484,4	81,8	1310	1,6	1669	32399723	133773	141,7	51457	791089	19342	22,1	83

Сортамент прокатных профилей по ГОСТ 6020–83 и ТУ Н-2-24–72



- $m$  — линейная плотность;  
 $h$  — высота профиля;  
 $S$  — статический момент полусечения;  
 $b$  — ширина полки;  
 $J_x, J_y$  — моменты инерции;  
 $t$  — толщина стенки;  
 $W_x, W_y$  — моменты сопротивления;  
 $t_n$  — толщина полки;  
 $i_x, i_y$  — радиусы инерции.

Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок  
по ГОСТ 6020–83

Профиль	$m$ , кг/м	Размеры, мм					$A$ , см <sup>2</sup>	Справочные данные для осей $x-x$ $y-y$						
		$h$ , мм	$b$ , мм	$S$ , мм	$t$ , мм	$R$ , мм		$J_x$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>	$S_x$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$i_y$ , см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Нормальные двутавры</b>														
10 Б1	8,1	100,0	55	4,1	5,7		10,32	171	34,2	19,7	4,07	16,9	5,8	1,24
12 Б1	8,7	117,6	64	3,8	5,1		11,03	257	43,8	24,9	4,83	22,4	7	1,42
Б2	10,4	120,0	64	4,4	6,3	7	13,21	318	53,0	30,4	4,90	27,7	8,6	1,45
14 Б1	10,5	137,4	73	3,8	5,6		13,39	435	63,3	35,8	5,70	36,4	10	1,65
Б2	12,9	140,0	73	4,7	6,9		16,43	541	77,3	44,2	5,74	44,9	12,3	1,65



Продолжение прил. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
90 Б1	194	893	300	15	18,5	30	247,10	304400	6817	3964	35,09	8365	557,6	5,82
Б2	213,8	900	300	15,5	22	30	272,40	349200	7760	4480	35,80	9943	662,8	6,04
100 Б1	230,6	990	320	16	21	30	293,82	446000	9011	5234	38,96	11520	719,9	6,26
Б2	258,2	998	320	17	25	30	328,90	516400	10350	5980	39,62	13710	856,9	6,46
Б3	285,7	1006	320	18	29	30	364,00	597700	11680	6739	40,18	15900	993,9	6,61
Б4	314,5	1013	320	19,5	32,5	30	400,60	655400	12940	7470	40,45	17830	1114,3	6,67
<b>Широкополочные двутавры</b>														
20 Ш1	30,6	196	193	6	9	13	38,95	2660	275	153	8,26	507	67,6	3,61
23 Ш1	36,2	226	155	6,5	10	14	46,06	4260	377	210	9,62	622	80,2	3,67
26 Ш1	42,7	251	180	7	10	16	54,37	6225	496	276	10,70	974	108,2	4,23
Ш2	49,2	255	180	7,5	12	16	62,73	7429	583	325	10,88	1168	129,8	4,31
30 Ш1	53,6	291	200	8	11	18	68,31	10400	715	398	12,34	1470	147,0	4,64
Ш2	61,0	295	200	8,5	13	18	77,65	12200	827	462	12,53	1737	173,7	4,73
Ш3	68,3	299	200	9	15	18	87	14040	939	526	12,70	2004	200,4	4,80
35 Ш1	75,1	338	250	9,5	12,5	20	95,67	19790	1171	651	14,38	3260	261	5,84
Ш2	82,2	341	250	10,0	14	20	104,74	22070	295	721	14,52	3650	292	5,90
Ш3	91,3	345	250	10,5	16	20	116,30	25140	1458	813	14,70	4170	334	5,99
40 Ш1	96,1	388	300	9,5	14	22	122,40	34360	1771	976	16,76	6306	420	7,18
Ш2	111,1	392	300	11,5	16	22	141,60	39700	2025	1125	16,75	7209	481	7,14
Ш3	123,4	396	300	12,5	18	22	157,20	44740	2260	1259	16,87	8111	541	7,18
50 Ш1	114,4	484	300	11	15	26	145,70	60930	2518	1403	20,45	6762	451	6,81
Ш2	138,7	489	300	14,5	17,5	26	176,60	75530	2967	1676	20,26	7900	526	6,81
Ш3	156,4	495	300	15,5	20,5	26	199,20	84200	3402	1923	20,56	9520	617	6,69
Ш4	174,1	501	300	16,5	23,5	26	221,70	96150	3838	2173	20,82	10600	707	6,9
60 Ш1	142,1	580	320	12	17	28	181,10	107300	3701	2068	24,35	9302	581	7,17
Ш2	176,9	587	320	15	20,5	28	225,30	131800	4490	2544	24,19	11230	702	7,06

Продолжение прил. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ш3	205,5	595	320	18	24,5	28	261,80	156900	5273	2997	24,48	13420	839	7,16
Ш4	234,2	603	320	20	28,5	28	298,34	182500	6055	3455	24,73	15620	976	7,23
70 Ш1	169,9	683	320	13,5	19	30	216,40	172000	5036	2843	28,19	10400	650	6,93
Ш2	197,6	691	320	15	23	30	251,70	205500	5949	3360	28,58	12590	787	7,07
Ш3	235,4	700	320	18	27,5	30	299,80	247100	7059	4017	28,72	15070	942	7,09
Ш4	268,1	708	320	20,5	31,5	30	341,60	284400	8033	5498	28,85	17270	1079	7,11
<b>Колонные двугавры</b>														
20 K1	41,5	195	200	6,5	10	13	52,82	3820	392	216	8,50	1334	133	5,03
K2	46,9	198	200	7	11,5	13	59,70	4422	447	247	8,61	1534	153	5,07
23 K1	52,2	227	240	7	10,5	14	66,51	6589	580	318	9,95	2421	202	6,03
26 K1	65,2	255	260	8	12	16	83,08	10300	809	445	11,14	3517	271	6,51
26 K1	65,2	255	260	8	12	16	83,08	10300	809	445	11,14	3517	271	6,51
K2	73,2	258		9	13,5		93,19	11700	907	501	11,21	3957	304	6,52
K3	83,1	262		10	15,5		105,90	13560	1035	18,10	11,32	4544	349	6,55
30 K1	84,8	296	300	9	13,5	18	108,00	18110	1223	672	12,95	6079	405	7,50
K2	96,3	300		10	15,5		122,70	20930	1395	771	13,06	6980	465	7,54
K3	108,9	304		11,5	17,5		138,72	23910	1573	874	13,12	7881	525	7,54
35 K1	109,7	343	350	10	15,0	20	139,70	31610	1843	1010	15,04	10720	613	8,76
K2	125,9	348		11	17,5		160,40	37090	2132	1173	15,21	12510	715	8,83
K3	144,5	353		13	20,0		184,10	42970	2435	1351	15,28	14300	817	8,81
40 K1	138,0	393	400	11	16,5	22	175,80	52400	2664	1457	17,26	17610	880	10
K2	165,6	400		13	20,0		210,96	64140	3207	1767	17,44	21350	1067	10,06
K3	202,3	409		16	24,5		257,80	80040	3914	2180	17,62	26150	1307	10,07
K4	242,2	419		19	29,5		308,60	98340	4694	2642	17,85	31500	1575	10,10
K5	291,2	431		23	35,5		371,00	121570	5642	3217	18,10	37910	1896	10,11

Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок по СТО АСЧМ 20–93

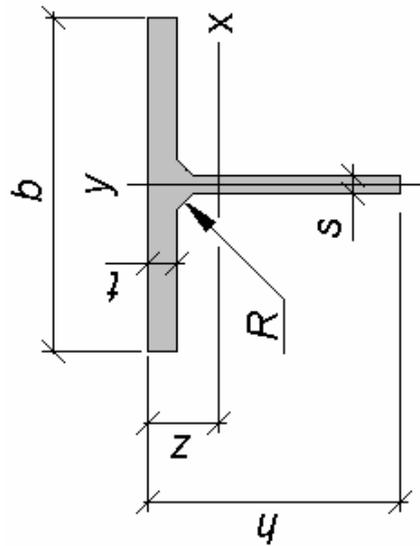
Профиль	$h$ , мм	$b$ , мм	$s$ , мм	$t$ , мм	$A_2$ , см	$m$ , кг/м	$J_{x_4}$ , см <sup>4</sup>	$W_{x_3}$ , см <sup>3</sup>	$S_{x_3}$ , см	$i_{x_3}$ , см	$J_{y_4}$ , см <sup>4</sup>	$W_{y_3}$ , см <sup>3</sup>	$i_{y_3}$ , см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Нормальные двутавры</b>													
18 Б1	177	91	4,3	6,5	19,58 2	15,4	1063	120,1	67,7	7,37	81,9	18	2,05
Б2	180	91	5,3	8	3,95	18,8	1317	146,3	83,2	7,42	100,8	22,2	2,05
20 Б1	200	100	5,5	8	27,16	21,3	1844	184,4	104,7	8,24	133,9	26,8	2,22
25 Б1	248	124	5	8	32,68	25,7	3537	285,3	159,7	10,4	254,8	41,1	2,79
Б2	250	125	6	9	37,66	29,6	4052	324,2	182,9	10,37	293,8	47	2,79
30 Б1	298	149	5,5	8	40,8	32	6319	424,1	237,5	12,44	441,9	59,3	3,29
Б2	300	150	6,5	9	46,78	36,7	7210	480,6	271,1	12,41	507,4	67,7	3,29
35 Б1	346	174	6	9	52,68	41,4	11095	641,3	358,1	14,51	791,4	91	3,88
Б2	350	175	7	11	63,14	49,6	13560	774,8	434	14,65	984,2	112,5	3,95
40 Б1	396	199	7	11	72,16	56,6	20020	1011,1	564	16,66	1446,9	145,4	4,48
Б2	400	200	8	13	84,12	66	23706	1185,3	663,2	16,79	1736,2	173,6	4,54
45 Б1	446	199	8	12	84,30	66,2	28699	1287	725,1	18,45	1579,7	158,8	4,33
Б2	450	200	9	14	96,76	76	33453	1486,8	839,6	18,59	1871,3	187,1	4,4
50 Б1	492	199	8,8	12	92,38	72,5	36845	1497,8	853,5	19,97	1581,5	158,9	4,14
Б2	496	199	9	14	101,27	79,5	41872	1688,4	957,3	20,33	1844,4	185,4	4,27
Б3	500	200	10	16	114,23	89,7	47849	1914	1087,7	20,47	2140,3	214	4,33
55 Б1	543	220	9,5	13,5	113,36	89	55682	2050,9	1165,1	22,16	2404,5	218,6	4,61
Б2	547	220	10	15,5	124,75	97,9	62790	2295,8	1301,6	22,44	2760,3	250,9	4,7
60 Б1	596	199	10	15	120,45	94,6	68721	2306,1	1325,5	23,89	1979	198,9	4,05
Б2	600	200	11	17	134,41	105,5	77638	2587,9	1489,5	24,03	2277,5	227,8	4,12
70 БС	693	230	11,8	15,2	153,05	120,1	114187	3295,5	1913,1	27,31	3097,7	269,4	4,5

Продолжение прил. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Б1	691	260	12	15,5	164,74	129,3	125931	3644,9	2094,9	27,65	4556,4	350,5	5,26
Б2	697	260	12,5	18,5	183,64	144,2	145913	4186,9	2392,8	28,19	5436,7	418,2	5,44
<b>Широкополочные двугавры</b>													
20 Ш1	194	150	6	9	39,01	30,6	2690	277,3	153,4	8,3	507,1	67,6	3,61
25 Ш1	244	175	7	11	56,24	44,1	6122	501,8	279,2	10,43	984,3	112,5	4,18
30 Ш1	294	200	8	12	72,38	56,8	11339	771,4	429,5	12,52	1602,9	160,3	4,71
Ш2	300	201	9	15	87,38	68,6	14210	947,4	529,9	12,75	2033,8	202,4	4,82
35 Ш1	334	249	8	11	83,17	65,3	17108	1024,4	565,8	14,34	2834,1	227,6	5,84
Ш2	340	250	9	14	101,51	79,7	21678	1275,2	706,1	14,61	3650,5	292,0	6,00
40 Ш1	383	299	9,55	12,5	112,91	88,6	30556	1595,6	880,8	16,45	5575,4	372,9	7,03
Ш2	390	300	10	16	135,95	106,7	38676	1983,4	1094	16,87	7207,1	480,5	7,28
45 Ш1	440	300	11	18	157,38	123,5	56072	2548,7	1412,5	18,88	8110,3	540,7	7,18
50 Ш1	482	300	11	15	145,52	114,2	60371	2505	1395,7	20,37	6762,4	450,8	6,82
Ш2	487		14,5	17,5	176,34	138,4	71867	2951,4	1666,7	20,19	7896,4	526,4	6,69
Ш3	493		15,5	20,5	198,86	156,1	83441	3385	1912,8	20,48	9249,7	616,6	6,82
Ш4	499		16,5	23,5	221,38	173,8	95282	3818,9	2161,5	20,75	10603	706,9	6,92
60 Ш1	5822	300	12	17	174,49	137	102717	3529,8	1981,5	24,26	7668	511,2	6,63
Ш2	589		16	20,5	217,41	170,7	126201	4285,3	2439	24,09	9257,4	617,2	6,53
Ш3	597		18	24,5	252,37	198,1	150043	5026,6	2869,9	24,38	11067	737,8	6,62
Ш4	605		20	28,5	287,33	225,6	174458	5767,2	3305,6	24,64	12879	858,6	6,70
70 Ш1	692	300	13	20	211,49	166	172435	4983,7	2814,6	28,55	9022,9	601,5	6,53
Ш2	698		15	23	242,53	190,4	198791	5696	3233,6	28,63	10381	692,1	6,54
Ш3	707		18	27,5	289,09	226,9	239032	6761,9	3867,2	28,76	12422	828,2	6,56
Ш4	715		20,5	31,5	329,39	258,6	275138	7696,2	4426,7	28,9	14240	949,3	6,58
80 Ш1	782	300	13,5	17	209,71	164,6	205458	5254,7	3018,9	31,3	7676,7	511,8	6,05

Окончание прил. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
III2	792		14	22	243,45	191,1	253655	6405,4	3644,1	32,28	9928,9	661,9	6,39
90 III1	881	299	15	18,5	243,96	191,5	292583	6642,1	3861,2	34,63	8278,5	553,7	5,83
III2	890		15	23	270,87	212,6	345335	7760,3	4457	35,71	10283	687,8	6,16
100 III1	990	320	16	21	293,8	230,6	446039	9010,9	5234,1	38,96	11517,9	719,9	6,26
III2	998		17	25	328,88	258,2	516373	10348,2	5982,6	39,62	13710	856,9	6,46
III3	1006		18	29	363,96	285,7	587730	11684,5	6736,2	40,18	15903	993,9	6,61
III4	1013		19,5	32,5	400,58	314,5	655449	12940,7	7470	40,45	17828,8	1114,3	6,67
<b>Колонные двутавры</b>													
20 K1	196	199	6,5	10	52,69	41,4	3846	392,5	216,4	8,54	1314,4	132,1	4,99
K2	200	200	8	12	63,53	49,9	4716	471,6	262,8	8,62	1601,4	160,1	5,02
25 K1	246	249	8	12	79,72	62,6	9171	745,6	410,7	10,73	3089,9	248,2	6,23
K2	250	250	9	14	92,18	72,4	10833	866,6	480,3	10,84	3648,6	291,9	6,29
K3	253	251	10	15,5	102,21	80,2	12154	960,8	535,4	10,9	4088,6	325,8	6,32
30 K1	298	299	9	14	110,80	87	18849	1265,1	694,7	13,04	6240,9	417,5	7,51
K2	300	300	10	15	119,78	94	20411	1360,7	750,6	13,05	6754,5	450,3	7,51
K3	300	305	15	15	134,78	105,8	21536	1435,7	806,9	12,64	7104,4	465,9	7,26
K4	304	301	11	17	134,82	105,8	23381	1538,2	852,8	13,17	7732,3	513,8	7,57
35 K1	342	348	10	15	139,03	109,1	31249	1827,4	1001,2	14,99	10541,7	605,8	8,71
K2	350	350	12	19	173,87	136,5	40296	2302,6	1272,7	15,22	13585,3	776,3	8,84
40 K1	394	398	11	18	186,81	146,6	56147	2850,1	1559,3	17,34	18921,9	950,8	10,06
K2	400	400	13	21	218,69	171,7	66623	3331,2	1836,3	17,45	22412	1120,6	10,12
K3	406	403	16	24	254,87	200,1	78041	3844,4	2139,9	17,5	26199	1300,2	10,14
K4	414	405	18	28	295,39	231,9	92773	4481,8	2513,2	17,72	31026,2	1532,2	10,25
K5	429	400	23	35,5	370,49	290,8	120292	5608	3198,6	18,02	37914,2	1895,7	10,12



Сталь горячекатаная. Тавры с параллельными гранями полок. Сортамент по ТУ Н-2-24-72

Номер профиля	$m$ , кг/м	Размеры, мм				$A$ , см <sup>2</sup>	Геометрические характеристики относительно осей $x$ и $y$							
		$h \times b$ , мм×мм	$d$ , мм	$t$ , мм	$R$ , мм		$J_{x_3}$ , см <sup>4</sup>	$W_{x_3}$ , см <sup>3</sup>	$S_{x_3}$ , см <sup>3</sup>	$i_{x_3}$ , см	$J_{y_3}$ , см <sup>4</sup>	$W_{y_3}$ , см <sup>3</sup>	$i_{y_3}$ , см	$z_0$ , см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Нормальные тавры</b>														
13 БТ1	13,9	128,8×120,0	5,6	8,5	13	17,7	252	25,3	86,7	3,78	123	20,5	2,64	2,91
БТ2	15,0	130,0×120,0	5,6	9,7		19,1	264	25,9	94,1	3,72	140	23,3	2,71	2,81
БТ3	16,5	131,1×120,5	6,1	10,8		21,1	293	28,6	103	3,73	158	26,2	2,74	2,85
15 БТ1	16,3	148,8×140,0	5,8	8,5		20,8	405	35,2	120	4,42	195	27,8	3,06	3,37
БТ2	17,6	150,0×140,0	5,8	9,7	13	22,4	424	36,0	131	4,34	222	31,8	3,15	3,23
БТ3	19,4	151,1×140,5	6,3	10,8		24,7	468	39,5	143	4,35	250	35,6	3,18	3,26

Продолжение прил. 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
17.5 БТ1	19,1	173,3×155,0	6,0	8,3	14	24,4	660	49,4	166	5,21	274	35,3	3,35	3,98
БТ2	21,2	175,0×155,0	6,0	10,5		27,0	699	50,9	186	5,09	326	42,1	3,48	3,75
БТ3	23,3	176,2×155,5	6,5	11,7		29,7	770	55,7	204	5,09	367	47,2	3,52	3,78
20 БТ1	23,6	197,9×165,0	6,8	9,8	16	30,1	1090	72,4	231	6,02	368	44,6	3,50	4,73
БТ2	26,3	200,0×165,0	6,8	11,9		33,5	1160	74,8	262	5,89	446	54,1	3,65	4,44
БТ3	28,8	201,2×165,6	7,4	13,1		36,7	1280	82	285	5,91	497	60,0	3,68	4,50
22.5 БТ1	29,3	222,7×180,0	7,6	11,0	18	37,3	1730	102	320	6,80	536	59,6	3,79	5,39
БТ2	32,5	225,0×180,0	7,6	13,3		41,4	1840	105	363	6,66	648	72,0	3,96	5,07
БТ3	33,7	226,4×180,7	8,3	14,7		45,5	2030	116	395	6,68	725	80,2	3,99	5,14
25 БТ1	36,0	247,8×200,0	8,4	12,2	20	45,9	2630	140	439	7,57	816	81,6	4,22	5,99
БТ2	39,5	250,0×200,0	8,4	14,4		50,3	2780	144	489	7,43	962	96,2	4,37	5,68
БТ3	43,2	251,6×200,6	9,0	16,0		55,0	3030	156	533	7,42	1080	108	4,43	5,69
27.5 БТ1	43,2	272,6×215,0	9,2	13,7	20	55,0	3820	185	577	8,34	1140	106	4,55	6,62
БТ2	47,2	275,0×215,0	9,2	16,1		60,2	4040	190	642	8,19	1340	124	4,71	6,29
БТ3	51,7	276,6×215,8	10,0	17,7		65,8	4440	208	698	8,21	1490	138	4,75	6,36
30 БТ1	51,5	297,1×230,0	10,0	15,4	22	65,7	5390	239	750	9,06	1570	136	4,68	7,18
БТ2	56,8	300,0×230,0	10,0	18,3		72,3	5710	246	841	8,89	1869	162	5,07	6,80
БТ3	62,2	301,7×231,0	11,0	20,0		79,3	6330	272	912	8,93	2060	178	5,10	6,94
35 БТ1	63,5	346,8×260,0	11,5	15,5	24	80,9	9500	370	1060	10,8	2280	175	5,31	8,98
БТ2	70,0	350,0×260,0	11,5	18,7		89,2	10130	382	1200	10,7	2750	211	5,55	8,45
БТ3	77,1	352,8×260,5	12,0	21,5		98,2	10970	406	1330	10,6	3180	244	5,69	8,25
БТ4	84,5	354,8×261,7	13,2	23,5		108	12150	449	1440	10,6	3520	260	5,72	8,42

Продолжение прил. 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Широкополочные тавры</b>														
11,5 ШТ1	17,2	110,5×155,0	6,3	9,5	14	21,9	191	21,4	90,8	2,95	295	38,1	3,67	2,11
ШТ2	19,7	112,0×155,2	6,5	11,0		24,5	207	22,7	99,3	2,91	343	44,2	3,74	2,08
13 ШТ1	21,4	125,4×180,0	6,8	10,2	16	27,3	305	29,9	130	3,34	497	55,2	4,27	2,34
ШТ2	23,7	126,8×180,3	7,1	11,6		30,2	330	31,9	141	3,31	567	62,9	4,34	2,33
15 ШТ1	26,6	145,5×200,0	7,5	11,2	18	33,9	524	44,4	190	3,93	748	74,8	4,70	2,75
ШТ2	29,6	147,3×200,2	7,7	13,0		37,8	562	46,7	208	3,86	871	87,0	4,80	2,71
ШТ3	33,2	148,9×201,1	8,6	14,6		42,3	640	52,9	228	3,89	991	98,6	4,84	2,80
ШТ4	36,4	150,3×201,9	9,4	16,0		46,3	710	58,5	246	2,92	1100	109,0	4,87	2,88
17,5 ШТ1	36,9	169,3×250,0	8,5	12,8	20	47,0	952	68,7	310	4,50	1670	134	5,96	3,93
17,5 ШТ2	40,5	170,5×250,9	9,4	14,0		51,6	1060	76,6	335	4,54	1850	147	5,98	3,86
ШТ3	44,4	172,5×250,9	9,4	16,0		56,6	1110	78,5	361	4,43	2110	168	6,10	3,89
ШТ4	49,3	174,3×251,9	10,4	17,8		62,8	1250	87,9	393	4,47	2370	188	6,15	2,92
20 ШТ1	48,5	194,3×300,0	9,5	14,2		61,8	1630	102	473	5,13	3200	213	7,19	3,44
ШТ2	52,3	195,9×300,0	9,5	15,8		66,6	1680	104	503	5,03	3560	237	7,31	3,35
ШТ3	55,3	195,9×302,0	11,5	15,8		70,5	1960	123	529	5,27	3630	240	7,18	3,71
ШТ4	62,2	198,8×302,0	11,5	18,7		79,3	2080	127	582	5,12	4300	285	7,36	3,57
25 ШТ1	56,1	242,1×300,0	10,4	15,0	26	71,5	3320	171	691	6,81	3380	225	6,88	4,80
ШТ2	62,7	244,9×300,0	10,4	17,8		79,9	3500	176	767	6,62	4010	267	7,08	4,56
ШТ3	70,0	244,9×303,8	14,2	17,8		89,2	4460	233	831	7,07	4170	274	6,84	5,36
ШТ4	77,7	248,1×303,8	14,2	21,0		98,9	4720	240	919	6,91	4920	324	7,05	5,14
ШТ5	86,0	251,6×303,8	14,2	24,5		110	5000	247	1000	6,75	5730	378	7,23	4,97

Продолжение прил. 10

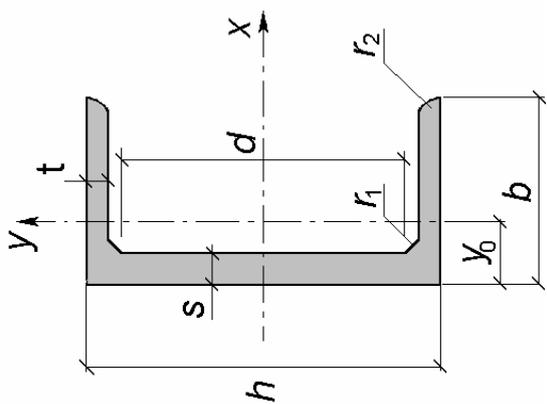
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
30 ШТ1	70,2	289,7×320,0	11,6	17,0	28	89,4	6220	271	1030	8,34	4650	291	7,21	6,03
ШТ2	76,7	292,3×320,0	11,6	19,6		97,7	6510	277	1130	8,16	5360	335	7,41	5,77
ШТ3	84,7	294,2×321,4	13,0	21,5		108	7330	312	1230	8,24	5960	371	7,43	6,96
ШТ4	95,1	294,2×325,9	17,5	21,5		121	9190	408	1330	8,71	6220	382	7,17	6,92
ШТ5	105	298,2×325,9	17,5	25,6		134	9780	422	1480	8,54	7380	453	7,41	6,63
ШТ6	117	302,7×325,9	17,5	30,0		149	10400	436	1630	8,36	8670	532	7,63	6,40
35 ШТ1	83,6	341,5×320,0	12,8	19,2	30	107	10890	411	1430	10,1	5260	328	7,02	7,63
ШТ2	92,5	344,7×320,3	13,1	22,4		118	11660	430	1590	9,95	6150	384	7,22	7,35
ШТ3	102	347,0×321,7	14,5	24,7		130	13020	479	1730	10,0	6870	427	7,27	7,53
ШТ4	113	349,5×323,2	16,0	27,2		143	14520	533	1890	10,1	7670	475	7,32	7,70
ШТ5	123	352,0×324,7	17,5	29,7		157	16050	587	2040	10,1	8500	523	7,36	7,87
ШТ6	131	352,0×327,7	20,5	29,7		167	18070	677	2130	10,4	8740	534	7,23	8,49
ШТ7	144	356,8×327,7	20,5	34,5		183	19170	698	2330	10,2	10150	620	7,45	8,22
40 ШТ1	101	389,6×340,0	14,5	21,0	32	129	17860	599	1950	11,8	6900	406	7,30	9,17
ШТ2	111	393,1×340,0	14,5	24,5		141	18810	615	2160	11,5	8040	473	7,55	8,73
ШТ3	122	395,6×341,6	16,0	27,0		156	20940	683	2350	11,6	8980	526	7,60	8,91
<b>Колонные тавры</b>														
13 КТ1	29,6	126,2×260,0	7,0	11,0	16	37,8	343	32,0	178	3,01	1610	124	6,53	1,92
КТ2	33,3	127,6×260,8	7,8	12,4		42,4	390	36,2	195	3,03	1830	141	6,58	2,00
КТ3	37,5	129,2×261,7	8,7	14,0		47,8	445	41,1	214	3,05	2090	160	6,62	2,08
КТ4	41,0	130,5×262,5	9,6	15,3		52,2	495	45,5	230	3,08	2310	176	6,65	2,16
КТ5	44,8	131,9×263,4	10,4	16,7		57,1	552	50,5	246	3,11	2550	193	6,68	2,24

Продолжение прил. 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
15 КТ1	41,8	147,8×300,0	8,5	13,5	18	53,3	664	53,2	291	3,53	3040	203	7,55	2,29
КТ2	45,3	148,9×300,7	9,2	14,6		57,6	728	58,1	310	3,55	3310	220	7,58	2,35
КТ3	49,5	150,3×301,5	10,0	16,0		63,1	806	63,9	332	3,57	3660	243	7,61	2,43
КТ4	54,5	151,9×302,5	11,0	17,6		69,4	903	71,3	358	3,61	4060	269	7,65	2,52
КТ5	60,0	153,7×303,5	12,0	19,4		76,4	1010	79,0	385	3,63	4520	298	7,69	2,62
КТ6	65,7	155,5×304,7	13,2	21,2		83,7	1130	88,3	414	3,68	5000	328	7,73	2,73
КТ7	72,3	157,6×306,0	14,5	23,3		92,2	1270	98,8	447	3,72	5570	364	7,77	2,85
КТ8	79,8	159,9×307,5	16,0	25,6		102	1440	111	483	3,77	6210	404	7,82	2,99
17,5 КТ1	54,0	171,5×350,0	9,3	15,0	20	68,8	1150	78,7	442	4,08	5360	306	8,83	2,59
КТ2	60,6	173,3×351,2	10,5	16,8		77,2	1310	90,0	484	4,13	6070	346	8,87	2,71
КТ3	67,7	175,3×352,4	11,7	18,8		86,3	1500	102	529	4,16	6860	389	8,92	2,83
КТ4	74,0	177,3×353,6	12,9	20,8		95,5	1680	114	572	4,20	7670	434	8,96	2,94
КТ5	82,3	179,3×354,9	14,2	22,8		105	1890	127	610	4,25	8500	479	9,00	3,07
КТ6	90,3	181,5×356,2	15,5	25,0		115	2110	141	662	4,28	9420	529	9,05	3,19
КТ7	99,2	183,9×357,7	17,0	27,4		126	2370	158	713	4,33	10460	585	9,10	3,33
КТ8	110,0	186,7×359,4	18,7	30,2		140	2690	177	770	4,39	11650	651	9,16	3,49
20 КТ1	67,8	196,3×400,0	10,8	16,2	22	86,3	1980	120	650	4,79	8640	432	10,0	3,05
КТ2	75,0	198,3×400,6	11,4	18,2		95,5	2150	128	700	4,75	9750	487	10,1	3,07
КТ3	83,2	200,3×401,8	12,6	20,2		106	2420	144	760	4,78	10930	544	10,2	3,18
КТ4	92,6	202,6×403,2	14,0	22,5		118	2750	162	827	4,82	12300	610	10,2	3,32
КТ5	103	205,1×404,7	15,5	25,0		131	3110	182	898	4,87	13820	683	10,3	3,46

Окончание прил. 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
КТ6	113	207,6×406,2	17,0	27,5	22	144	3490	203	968	4,91	15370	757	10,3	3,60
КТ7	126	210,6×408,0	18,8	30,5		160	3960	229	1050	4,97	17280	847	10,4	3,77
КТ8	139	213,6×409,8	20,6	33,5		176	4460	256	1130	5,03	19230	939	10,4	3,95
КТ9	154	217,1×412,2	23,0	37,0		196	5130	293	1230	5,12	21620	1050	10,5	4,17
КТ10	174	221,7×415,2	26,0	41,6		222	6040	341	1360	5,22	24860	1200	10,6	4,45
КТ11	210	230,1×420,2	31,0	50,0		268	7790	430	1580	5,39	30970	1470	10,7	4,92
КТ12	256	240,1×426,7	37,5	60,0		326	10300	557	1870	5,62	38940	1820	10,9	5,51
КТ13	311	252,1×434,2	45,0	72,0		396	13770	752	2220	5,90	49270	2270	11,2	6,20
КТ14	386	268,1×444,2	55,0	88,0		492	19410	986	2730	6,28	64550	2910	11,5	7,12



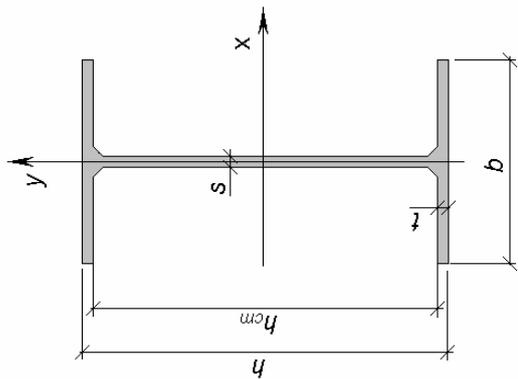
Швеллер с уклоном полок по ГОСТ 8240–89

№ проф.	h мм	b мм	s мм	t мм	r1 мм	r2 мм	A см <sup>2</sup>	P кг/см	J <sub>y</sub> см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> см <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> мм	S <sub>y</sub> см <sup>3</sup>	I <sub>z</sub> см <sup>4</sup>	W <sub>z</sub> см <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> мм	y <sub>0</sub> мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5	50,0	32,0	4,4	7,0	6,0	2,5	6,16	0,048	22,8	9,1	19,2	5,59	5,61	2,75	9,500	11,6
6,5	65,0	36,0	4,4	7,2	6,0	2,5	7,51	0,059	48,60	15,0	25,4	9,0	8,70	3,68	10,80	12,4
8	80,0	40,0	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	0,071	89,40	22,4	31,6	23,3	12,8	4,75	11,90	13,1
10	100,0	46,0	4,5	7,6	7,0	3,0	10,9	0,086	174,0	34,8	39,9	20,4	20,40	6,46	13,70	14,4
12	120,0	52,0	4,8	7,8	7,5	3,0	13,3	0,104	304,0	50,6	47,8	29,6	31,20	8,52	15,30	15,4
14	140,0	58,0	4,9	8,1	8,0	3,0	15,6	0,123	491,0	70,2	56,0	40,8	45,40	11,00	17,00	16,7
16	160,0	64,0	5,0	8,4	8,5	3,5	18,1	0,142	747,0	93,4	64,2	54,1	63,30	13,80	18,70	18,0
16a	160,0	68,0	5,0	9,0	8,5	3,5	19,5	0,153	823,0	103,0	64,9	59,4	78,80	16,40	20,10	20,0
18	180,0	70,0	5,1	8,7	9,0	3,5	20,7	0,163	1090,0	121,0	72,4	69,8	86,00	17,00	20,40	19,4
18a	180,0	74,0	5,1	9,3	9,0	3,5	22,2	0,174	1190,0	132,0	73,2	76,1	105,00	20,00	21,80	21,3
20	200,0	76,0	5,2	9,0	9,5	4,0	23,4	0,184	1520,0	152,0	80,7	87,8	113,00	20,50	22,00	20,7
22	220,0	82,0	5,4	9,5	10,0	4,0	26,7	0,210	2110,0	192,0	88,9	110,0	151,00	25,10	23,70	22,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
24	240,0	90,0	5,6	10,0	10,5	4,0	30,6	0,240	2900,0	242,0	97,3	139,0	208,00	31,60	26,00	24,2
27	270,0	95,0	6,0	10,5	11,0	4,5	35,2	0,277	4160,0	308,0	109,0	178,0	262,00	37,30	27,30	24,7
30	300,0	100,0	6,5	11,0	12,0	5,0	40,5	0,318	5810,0	387,0	120,0	224,0	327,00	43,60	28,40	25,2
33	330,0	105,0	7,0	11,7	13,0	5,0	46,5	0,365	7979,9	484,0	131,0	281,0	410,00	51,80	29,70	25,9
36	360,0	110,0	7,5	12,6	14,0	6,0	53,4	0,419	10819,	601,0	142,0	350,0	513,00	61,70	31,00	26,8
40	400,0	115,0	8,0	13,5	15,0	6,0	61,5	0,483	15219,9	761,0	157,0	444,0	642,00	73,40	32,30	27,5

## Швеллер с параллельными гранями полок по ГОСТ 8240–89

	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>r</i> <sub>1</sub>	<i>r</i> <sub>2</sub>	<i>A</i>	<i>P</i>	<i>I<sub>y</sub></i>	<i>W<sub>y</sub></i>	<i>i<sub>y</sub></i>	<i>S<sub>y</sub></i>	<i>I<sub>z</sub></i>	<i>W<sub>z</sub></i>	<i>i<sub>z</sub></i>	<i>γ<sub>0</sub></i>
	мм	мм	мм	мм	мм	мм	см <sup>2</sup>	кг/см	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	мм	см <sup>3</sup>	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	мм	мм
5П	50,0	32,0	4,4	7,0	6,0	3,5	6,16	0,048	22,8	9,1	19,2	5,61	5,95	2,99	9,8	12,1
6,5П	65,0	36,0	4,4	7,2	6,0	3,5	7,51	0,059	48,8	15,0	25,5	9,02	9,35	4,06	11,2	12,9
8П	80,0	40,0	4,5	7,4	6,5	3,5	8,98	0,071	89,9	22,5	31,6	13,3	13,9	3,31	12,4	13,8
10П	100,0	46,0	4,5	7,6	7,0	4,0	10,9	0,086	175,0	34,9	39,9	20,5	22,6	7,37	14,4	15,3
12П	120,0	52,0	4,8	7,8	7,5	4,5	13,3	0,104	305,0	50,8	47,9	29,7	34,9	9,84	16,2	16,6
14П	140,0	58,0	4,9	8,1	8,0	4,5	15,6	0,123	493,0	70,4	56,1	40,9	51,5	12,90	18,1	18,2
16П	160,0	64,0	5,0	8,4	8,5	5,0	18,1	0,142	750,0	93,8	64,4	54,3	72,8	16,4	20,0	19,7
16аП	160,0	68,0	5,0	9,0	8,5	5,0	19,5	0,153	827,0	103,0	65,1	59,5	90,5	19,6	21,5	21,9
18П	180,0	70,0	5,1	8,7	9,0	5,0	20,7	0,163	1090,0	121,0	72,6	70,0	100,0	20,6	22,0	21,4
18аП	180,0	74,0	5,1	9,3	9,0	5,0	22,2	0,174	1200,0	133,0	73,4	76,3	123,0	24,3	23,5	23,6
20П	200,0	76,0	5,2	9,0	9,5	5,5	23,4	0,184	1530,0	153,0	80,8	88,0	134,0	25,2	23,9	23,0
22П	220,0	82,0	5,4	9,5	10,0	6,0	26,7	0,210	2120,0	193,0	89,0	111,0	178,0	31,0	25,8	24,7
24П	240,0	90,0	5,6	10,0	10,5	6,0	30,6	0,240	2910,0	243,0	97,5	139,0	248,0	39,5	28,5	27,2
27П	270,0	95,0	6,0	10,5	11,0	6,5	35,2	0,277	4180,0	310,0	109,0	178,0	314,0	46,7	29,9	27,8
30П	300,0	100,0	6,5	11,0	12,0	7,0	40,5	0,318	5830,0	389,0	120,0	224,0	393,0	54,8	31,2	28,3
33П	330,0	105,0	7,0	11,7	13,0	7,5	46,5	0,365	8010,8	486,0	131,0	281,0	491,0	64,6	32,5	29,0
36П	360,0	110,0	7,50	12,6	14,0	8,5	53,4	0,419	10850	603,0	143,0	350,0	611,0	76,3	33,8	29,9
40П	400,0	115,0	8,0	13,5	15,0	9,0	61,5	0,483	15260	763,0	158,0	445,0	760,0	89,9	35,1	30,5



Двутавры с постоянной гибкостью стенки

Первоначальный профиль	Параметры сечения						Вес пог.м, кг/м	Геометрические характеристики								
	$A^*$	$b$	$A_{факт}$	$t_{ст}$	$h_{ст}$	$t_{п}$		$h_{проф}$	$J_x$	$W_x$	$i_x$	$J_y$	$W_y$	$i_y$	$S_{x0,5}$	
	см <sup>2</sup>	см	см <sup>2</sup>	см	см	см		см	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см	см <sup>4</sup>	см <sup>3</sup>	см	см <sup>2</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
<b>Двутавр широкополочный</b>																
20Ш1	38,95	15	38,68	0,52	37,45	0,64	38,73	30,3	9240,75	477,18	15,4	360,43	48,05	3,04	273,99	
23Ш1	46,08	15,5	45,98	0,57	40,42	0,74	41,9	36,1	12853,74	613,54	16,7	459,9	59,34	3,15	352,45	
26Ш1	54,37	18	54,19	0,62	43,84	0,75	45,34	42,5	17775,41	784,09	18,1	729,87	81,09	3,66	449,93	
26Ш2	62,73	18	62,69	0,66	47,52	0,87	49,26	49,2	24238,54	984,1	19,6	846,77	94,08	3,67	565,19	
30Ш1	68,31	20	68,16	0,69	49,5	0,85	51,2	53,5	28524,61	1114,24	20,4	1134,68	113,46	4,07	639,3	
30Ш2	77,65	20	77,63	0,74	52,46	0,97	54,4	60,9	36597,24	1345,48	21,7	1295,1	129,51	4,08	772,83	

Двугавр широкополочный															
п/п	A*	b	A <sub>факт</sub>	t <sub>ст</sub>	h <sub>ст</sub>	t <sub>п</sub>	h <sub>проф</sub>	m	J <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	S <sub>x0,5</sub>
30Ш3	87	20	86,7	0,78	55,76	1,08	57,92	68,06	46165,58	1594,11	23,03	1442,2	144,22	4,07	917,01
35Ш1	95,67	25	95,34	0,82	58,33	0,95	60,23	74,85	55295,25	1836,13	24,04	2476,63	198,13	5,08	1052,69
35Ш2	104,7	25	104,35	0,86	60,87	1,04	62,95	81,92	65994,9	2096,74	25,1	2711,55	216,92	5,08	1203,13
40Ш2	141,6	30	141,6	1	70,8	1,18	73,16	111,2	121288,6	3315,7	29,26	5315,9	354,39	6,12	1900,62
40Ш3	157,2	30	157,2	1,05	74,85	1,31	77,47	123,4	150681,1	3890,04	30,96	5902,22	393,48	6,12	2231,87
50Ш1	145,7	30	145,45	1,02	71,42	1,21	73,84	114,2	126717,8	3432,22	29,49	5451,31	363,42	6,11	1968,58
50Ш2	176,6	30	176,49	1,12	78,83	1,47	81,77	138,5	187916,8	4596,22	32,62	6624,22	441,61	6,12	2640,59
50Ш3	199,2	30	199,2	1,19	83,69	1,66	87,01	156,4	239538,1	5505,99	34,67	7481,75	498,78	6,12	3167,06
50Ш4	221,7	30	221,25	1,25	88,68	1,84	92,36	173,7	298827	6470,91	36,71	8294,43	552,96	6,11	3727,12
60Ш1	181,1	32	180,79	1,13	80,13	1,41	82,95	141,9	198460	4785,05	33,1	7710,11	481,88	6,52	2746,48
60Ш2	225,3	32	225,29	1,26	89,4	1,76	92,92	176,9	309067,1	6652,32	37,03	9626,84	601,67	6,53	3825,86
60Ш3	261,8	32	261,46	1,36	96,25	2,04	100,33	205,3	416433,3	8301,27	39,88	11161,3	697,58	6,52	4783,07
60Ш4	298,3	32	298,27	1,45	102,86	2,33	107,52	234,2	544068,5	10120,3	42,7	12751,0	796,93	6,53	5839,14
70Ш1	216,4	32	216,35	1,24	87,25	1,69	90,63	169,8	282554,5	6235,34	36,13	9243,51	577,71	6,53	3584,88
70Ш2	251,7	32	251,28	1,34	93,91	1,96	97,83	197,3	380754,1	7783,99	38,89	10723,0	670,19	6,52	4483,68
70Ш3	299,8	32	299,66	1,46	102,67	2,34	107,35	235,2	544597,7	10146,2	42,62	12806,1	800,38	6,53	5855,33
70Ш4	341,6	32	341,03	1,56	109,48	2,66	114,8	267,7	705896,2	12297,8	45,45	14561,8	910,11	6,52	7109,92
70Ш5	389,7	32	389,4	1,66	117,37	3,04	123,45	305,7	929025,3	15051,0	48,82	16647,2	1040,4	6,53	8715,2
Двугавр нормальный															
20Б1	28,49	10	28,45	0,45	31,65	0,71	33,07	22,3	4906,96	296,76	13,12	118,57	23,71	2,04	171,22
23Б1	32,91	11	32,74	0,48	34,28	0,74	35,76	25,7	6603,51	369,32	14,16	164,47	29,9	2,23	213,03
26Б1	35,62	12	35,57	0,5	35,62	0,74	37,1	27,9	7753,79	417,99	14,75	213,49	35,58	2,44	240,73

Двутавр нормальный															
П/П	$A^*$	$b$	$A_{факт}$	$t_{ст}$	$h_{ст}$	$t_{п}$	$h_{проф}$	$m$	$J_x$	$W_x$	$i_x$	$J_y$	$W_y$	$i_y$	$S_{x0,5}$
26Б2	39,7	12	39,53	0,53	37,45	0,82	39,09	31,0	9526,69	487,42	15,49	236,62	39,43	2,44	281,2
30Б1	41,92	14	41,68	0,54	38,81	0,74	40,29	32,7	10734,04	532,83	16	338,93	48,41	2,84	306,53
30Б2	46,67	14	46,58	0,57	40,93	0,83	42,59	36,6	13390,38	628,8	16,93	380,21	54,31	2,85	361,98
35Б1	49,53	15,5	49,26	0,59	41,97	0,79	43,55	38,7	14830,62	681,08	17,3	491,02	63,35	3,14	391,7
35Б2	55,17	15,5	54,87	0,62	44,49	0,88	46,25	43,1	18590,15	803,89	18,35	547,05	70,58	3,14	462,82
50Б1	92,98	20	92,89	0,81	57,39	1,16	59,71	72,9	52530,06	1759,5	23,76	1549,2	154,92	4,08	1012,65
50Б2	102,8	20	102,6	0,85	60,47	1,28	63,03	80,5	64476,56	2045,9	25,04	1709,76	170,97	4,07	1178,91
55Б2	124,8	22	124,44	0,94	66,38	1,41	69,2	97,7	94197,99	2722,48	27,47	2506,87	227,89	4,48	1569,16
60Б1	135,3	23	135,27	0,98	69,03	1,47	71,97	106,2	110897,5	3081,77	28,62	2986,32	259,68	4,69	1775,53
60Б2	147,3	23	147,25	1,02	72,2	1,6	75,4	115,6	132221,4	3507,19	29,96	3250,91	282,68	4,69	2022,55
70Б1	164,7	26	164,51	1,08	76,25	1,58	79,41	129,1	164337,3	4138,95	31,58	4636,35	356,64	5,3	2383,52
70Б2	183,6	26	183,32	1,14	80,52	1,76	84,04	143,9	204515,8	4867,1	33,37	5165,56	397,35	5,3	2806,46
80Б1	203,2	28	202,96	1,2	84,66	1,81	88,28	159,3	250174,9	5667,75	35,08	6634,37	473,88	5,71	3266,24
80Б2	226,6	28	226,42	1,27	89,21	2,02	93,25	177,7	310549	6660,56	37,01	7405,73	528,98	5,71	3843,38
90Б1	247,1	30	246,54	1,32	93,59	2,05	97,69	193,5	371487,6	7605,43	38,77	9242,93	616,19	6,11	4386,17
90Б2	272,4	30	272,4	1,39	97,98	2,27	102,52	213,8	451217,8	8802,53	40,69	10236,9	682,46	6,13	5081,52
100Б1	293,8	32	293,46	1,44	102,01	2,29	106,59	230,3	526034,3	9870,23	42,31	12531,8	783,23	6,53	5694,63
100Б2	328,9	32	328,29	1,53	107,48	2,56	112,6	257,7	654370,5	11622,9	44,6	14013,1	875,81	6,52	6716,54
100Б3	364	32	363,76	1,61	113,04	2,84	118,72	285,5	804092,7	13546,0	47	15549,5	971,84	6,53	7837,16

Рельсы крановые КР (по ГОСТ 4121–76 с изм.)

Тип рельса	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Расст. до ц.т., см	Моменты инерции, см <sup>4</sup>			Масса 1 м, кг
			$J_x$	$J_y$	$J_{кр}$	
	$A$	$z$				$m$
КР 50	38,02	4,32	357,54	111,42	78	29,85
КР 60	50,99	4,83	654,6	195,88	134	50,03
КР 70	67,3	5,93	1081,99	327,16	253	52,83
КР 80	81,13	6,43	1547,4	482,39	387	63,69
КР 100	113,32	7,6	2864,73	940,98	765	88,96
КР 120	150,44	8,43	4923,79	1694,83	1310	118,1
КР 140	195,53	9,84	7427,23	2483,4	2130	153,49

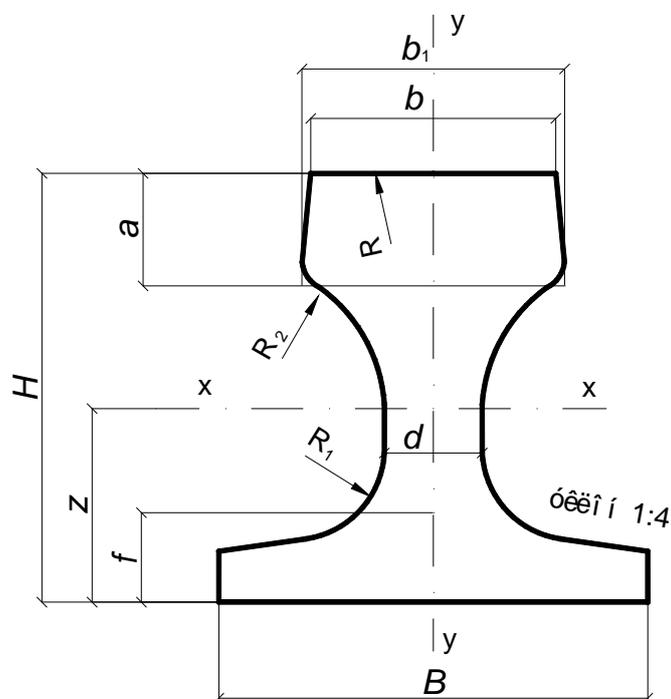


Таблица 2 П 13

Рельсы крановые КР основные размеры, мм (ГОСТ 121–76 с изм.)

Тип рельса	$H$	$B$	$a$	$b$	$b_1$	$d$	$f$	$R$	$R_1$	$R_2$
КР 50	90	90	25	50	55	20	20	300	18	26
КР 60	105	105	27.5	60	64.5	24	22	350	20	32
КР 70	120	120	32.5	60	76.5	28	24	400	23	38
КР 80	130	130	35	80	87	32	26	400	25	44
КР 100	150	150	40	100	108	38	30	450	30	50
КР 120	170	170	45	120	129	44	35	500	34	56
КР 140	190	190	50	140	150	50	40	600	32	63

Продолжение прил. 13

Таблица 3 П 13

Рельсы железнодорожные  
для дорог широкой колеи (ГОСТ 7174–65)

Рельс	$A$ , см <sup>2</sup>	$J_{x_4}$ , см <sup>4</sup>	$W_{x_3}$ , см <sup>3</sup>	$J_{y_4}$ , см <sup>4</sup>	$W_{y_3}$ , см <sup>3</sup>	Масса кг/м
Р 75	95,7	4491	431,9	664,9	89,1	75,1
Р 65	82,6	3548	359,0	369,0	76,0	64,6
Р 50	65,9	2018	218,0	375,0	57,0	51,6
Р 43	57,0	1489	208,3	260,0	45,0	44,6
Р 38	49,1	1223	181,9	209,3	36,7	38,4
Р 33	42,8	968	146,9	166,7	30,3	33,5

Таблица 4 П 13

Рельсы железнодорожные для дорог узкой колеи  
(по ГОСТ 3668-52 с изм.)

Рельс	$A$ , см <sup>2</sup>	$J_{x_4}$ , см <sup>4</sup>	$W_{x_3}$ , см <sup>3</sup>	$J_{y_4}$ , см <sup>4</sup>	$W_{y_3}$ , см <sup>3</sup>	Масса, кг/м
Р 24	32,7	468	87,6	80,6	17,5	25,6
Р 18	23,1	240	51,0	47,1	10,3	18,1
Р 15	19,2	222	47,7	31,5	8,3	15,0
Р 11	14,3	125	30,5	15,1	4,6	11,2
Р 8	10,8	59,3	16,4	9,6	3,7	8,4

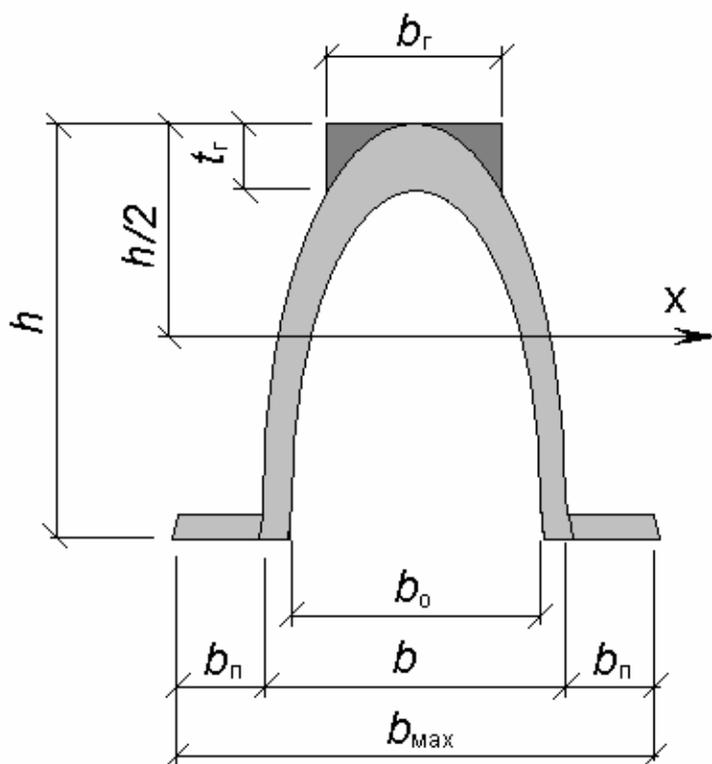


Таблица 5 П 13

Арочные рельсы, см (арка параболическая)

Рельс	$b_r$	$b-b_0$	$b$	$b_{max}$	$2b_n$	$h$	$t_r$	$A_n$	$A_{2V}$
<b>Арочные железнодорожные рельсы</b>									
А Р75	7,32	1,8	16,86	26,08	9,22	30,53	2,5	19,92	14,02
А Р65	7,29	1,6	16,80	26,72	9,92	26,98	2,25	18,644	12,35
А Р50	6,96	1,4	15,66	25,90	10,23	22,22	2	15,961	10,16
А Р43	6,74	1,2	15,64	25,92	10,29	21,15	1,75	14,4	8,83
<b>Арочные крановые рельсы</b>									
А КР50	5	1,0	11,28	16,08	4,801	17,555	1,6	9,603	5,74
А КР60	6	1,2	13,51	19,89	6,383	19,633	1,8	12,766	7,74
А КР70	7	1,6	15,18	23,15	7,968	20,650	2,1	15,936	10,24
А КР80	8	1,7	17,27	27,37	10,09	22,152	2,3	20,184	12,66
А КР100	10	1,8	21,78	36,74	14,95	25,700	2,6	29,909	18,05
А КР120	12	1,8	27,21	48,03	20,82	31,147	2,8	41,651	24,23
А КР140	14	2,0	31,81	58,07	26,25	33,575	3,0	52,503	30,33

Продолжение прил. 13

Таблица 6 П 13

Параметры арочных железнодорожных рельсов

Рельс	$A, \text{см}^2$	$J_x, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$J_y, \text{см}^4$	$W_y, \text{см}^3$	$J_p, \text{см}^4$	Масса, кг
<b>Арочные железнодорожные рельсы</b>							
А Р75	95,7	11956	783	4128	317	16084	75,125
А Р65	82,6	8257	612	3713	278	11970	64,841
А Р50	65,9	4547	409	2723	210	7270	51,732
А Р43	57	3643	345	2397	185	6040	44,745
<b>Арочные крановые рельсы</b>							
А КР50	38,02	1593	181	738	92	2331	29,846
А КР60	50,99	2693	274	1448	146	4142	40,027
А КР70	67,22	3854	373	2420	209	6274	52,768
А КР80	81,84	5491	496	3986	291	9477	64,244
А КР100	113,44	10610	826	9524	518	20134	89,050
А КР120	150,69	21489	1380	21053	877	42542	118,29
А КР140	187,24	31344	1867	37190	1281	68535	146,98

Таблица 7 П 13

Увеличение моментов инерции и моментов сопротивления в  $n$  раз арочных А КР рельсов по отношению к обычным КР

Рельс	$J_x$	$W_x$	$J_y$	$W_y$	$J_p$
<b>Арочные железнодорожные рельсы</b>					
А Р75	2,662	1,813	6,208	3,558	3,119
А Р65	2,327	1,705	10,06	3,657	3,056
А Р50	2,253	1,877	7,261	3,69	3,038
А Р43	2,447	1,654	9,218	4,109	3,453
<b>Арочные крановые рельсы</b>					
А КР50	4,454	2,375	6,627	3,707	4,97
А КР60	4,114	2,376	7,395	3,902	4,87
А КР70	3,558	2,094	7,569	3,922	4,472
А КР80	3,603	2,125	8,507	4,04	4,757
А КР100	3,781	2,244	10,358	4,225	5,405
А КР120	4,482	2,501	12,592	4,456	6,579
А КР140	5,67	2,954	14,256	4,174	8,423

Примечание. Здесь и далее сравнение производится со следующими рельсами: Р75 – ГОСТ 16210–76, Р65 – ГОСТ 8163–63, Р50 – ГОСТ 7174–75–ГОСТ 7173–54, КР 50...КР 140 – ГОСТ 4121–62\*.

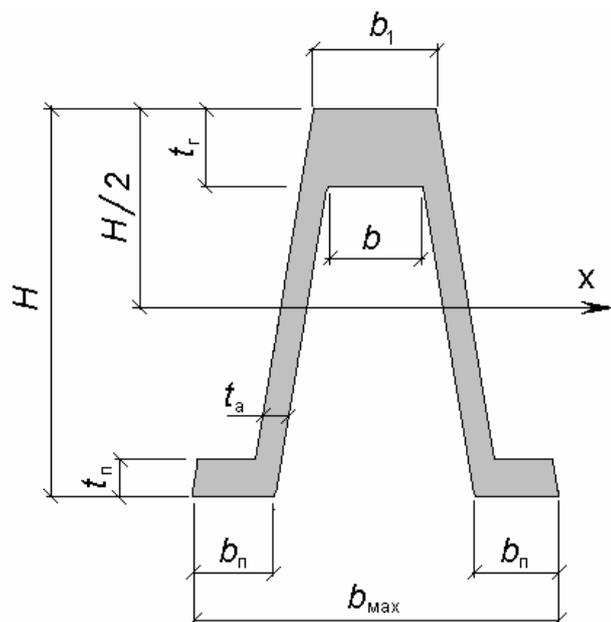


Таблица 8 П 13

Арочные трапециидальные рельсы

Тип	$b$ , см	$b_1$ , см	$2t_a$ , см	$H$ , см	$t_r$ , см	$t_n$ , см	$A_r$ , см <sup>2</sup>	$A_n$ , см <sup>2</sup>	$2t$ , см	$2b_n$ , см	$b_{max}$ , см	$m$ , кг
ТР140	14	15	3,216	25,18	5	2,5	72,5	50,04	2	20,02	39	147
ТР140	14	15	3,015	26,14	5	2,5	72,5	51,00	2	20,4	39,63	147
ТР120	12	12,9	2,211	28,35	4,5	2,25	56,03	41,88	2	18,6	36,28	118,3
ТР100	10	10,8	1,909	25,45	4	2	41,6	30,88	2	15,44	30,53	89,1
ТР80	8	8,7	1,608	22,84	3,5	1,75	29,23	21,51	2	12,29	24,86	64,2
ТР70	7	7,65	1,407	21,62	3,25	1,625	23,81	17,56	2	10,8	22,13	52,8

Таблица 9 П 13

Параметры арочных трапециидальных рельсов

Тип	$A$ , см <sup>2</sup>	Геометрические характеристики относительно осей x-x, y-y					
		$J_x$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>	$S_{1/2}$ , см <sup>3</sup>	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$J_p$ , см <sup>4</sup>
ТР140	187,24	16558,6	1317,5	820,1	15873,8	814,7	32462,4
ТР140	187,24	18187,1	1391,5	860,4	16485,9	832,0	34673,0
ТР120	150,69	17983,0	1268,6	768,7	11201,1	617,4	29184,1
ТР100	113,44	10838,3	851,6	516,8	5967,9	390,9	16806,2
ТР80	81,84	6226,3	545,2	331,7	2849,3	229,2	9075,6
ТР70	67,22	4585,5	424,1	257,8	1861,4	168,2	6446,8

Увеличение характеристик новых крановых рельсов ТР  
по сравнению со стандартными КР

Тип	A, см <sup>2</sup>	Геометрические характеристики рельса относительно осей x-x, y-y				
		J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> , см <sup>3</sup>	J <sub>y</sub> , см <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> , см <sup>3</sup>	J <sub>p</sub> , см <sup>4</sup>
ТР140	1	3,29	2,20	6,32	2,71	4,26
ТР140	1	3,75	2,3	6,7	3,14	4,51
ТР120	1	3,86	2,31	6,49	3,19	4,51
ТР100	1	4,09	2,34	6,08	3,15	4,56
ТР80	1	4,23	2,38	5,82	3,16	4,60

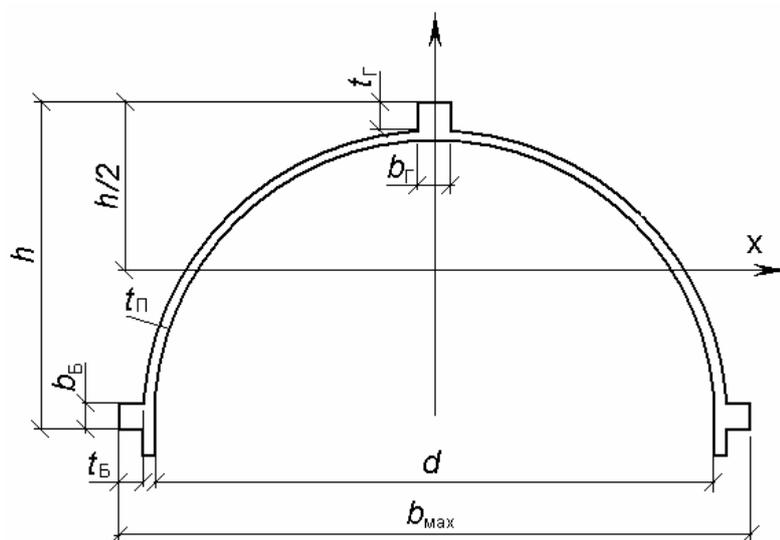


Таблица 11 П 13

Арочные рельсы (арка цилиндрическая)

Тип рельса	A <sub>Г,2</sub> , см <sup>2</sup>	A <sub>н,2</sub> , см <sup>2</sup>	2A <sub>б,2</sub> , см <sup>2</sup>	h, см	d, см	b <sub>Г</sub> , см	t <sub>Г</sub> =b <sub>б</sub> , см	t <sub>Б</sub> , см	t <sub>п</sub> , см	b <sub>max</sub> , см	y <sub>н</sub> , см
КР50	9,51	17,40	11,10	16,35	27,3	4,14	2,3	2,41	0,4	32,93	8,82
КР60	15,24	19,04	16,71	18,1	29,9	5,54	2,75	3,04	0,4	36,78	9,65
КР70	17,91	25,92	19,47	20	32,5	5,51	3,25	3,00	0,5	39,49	10,51
КР80	24,06	31,20	25,90	20,1	32,5	7,40	3,25	3,98	0,6	41,66	10,54
КР100	28,80	51,52	33,00	24,4	40,2	8,23	3,5	4,71	0,8	51,23	13,05
КР120	48,59	51,52	50,33	25,4	40,2	10,80	4,5	5,59	0,8	52,98	13,05
КР140	71,75	51,52	72,26	25,9	40,2	14,35	5	7,23	0,8	56,25	13,05

Окончание прил. 13

Таблица 12 П 13

Геометрические характеристики

Тип рельса	$A, \text{см}^2$	$J_x, \text{см}^4$	$J_y, \text{см}^4$	$J_p, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$W_y, \text{см}^3$	$m, \text{кг/м}$
⌒КР 50	38,02	1350,0	4273,3	5623,6	165,14	259,56	29,9
⌒КР 60	50,99	2323,1	6993,6	9316,7	256,69	380,32	40
⌒КР 70	63,3	3330,2	10072,8	13403,0	333,02	510,13	52,8
⌒КР 80	81,13	4405,7	13599,8	18005,5	438,37	652,90	63,7
⌒КР 100	113,32	8901,7	28903,4	37805,1	729,65	1128,41	89
⌒КР 120	150,44	13028,1	39692,4	52720,4	1025,83	1498,28	118,1
⌒КР 140	195,53	18079,3	55793,1	73872,4	1396,08	1983,71	153,5

Таблица 13 П 13

Увеличение характеристик новых арочных ⌒КР  
и существующих рельсов КР

Тип рельса	$A, \text{см}^2$	$J_x, \text{см}^4$	$J_y, \text{см}^4$	$J_p, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$W_y, \text{см}^3$	$m, \text{кг/м}$
⌒КР 50	1	3,78	38,35	11,99	1,99	10,48	1
⌒КР 60	1	3,55	35,70	10,95	1,89	10,19	1
⌒КР 70	1	3,08	30,79	9,52	1,83	9,35	1
⌒КР 80	1	2,85	28,19	8,87	1,82	8,80	1
⌒КР 100	1	3,11	30,72	9,93	1,96	8,99	1
⌒КР 120	1	2,65	23,42	7,96	1,76	7,51	1
⌒КР 140	1	2,43	22,47	7,45	1,85	7,59	1

## Краны мостовые электрические литейные

### Общие сведения

Литейные краны предназначены для выполнения операций по транспортированию и заливке расплавленного металла в миксер или мартеновские печи, разливке металла в изложницы, а также для вспомогательных операций, связанных с кантовкой ковшей, ремонтом оборудования и уборкой цеха.

Завод «Сибтяжмаш» выпускает литейные краны грузоподъемностью от 75 до 385 *t*. Для мартеновских печей большой производительности применяются краны грузоподъемностью 450 *t* и более.

Основным грузозахватным органом литейных кранов является траверса с двумя однорогими крюками, с помощью которых захватываются ковши с расплавленным металлом.

Вспомогательным грузозахватным органом является крюк вспомогательной тележки, предназначенной для выполнения операций по кантовке ковшей и для выполнения вспомогательных операций.

Литейные краны изготавливаются для работы на постоянном токе напряжением 220 В и на переменном токе напряжением 380 В.

Механизмы подъема главной тележки и передвижения крана рассчитаны на тяжёлый режим работы (ПВ 40 %), все механизмы вспомогательной тележки и механизм передвижения главной тележки рассчитаны на средний режим работы (ПВ 25 %).

Между грузоподъемностью литейных кранов и ёмкостью ковша имеется следующая зависимость:

Грузоподъемность крана и соответствующая ёмкость ковша в *t*

Грузоподъемность	80	80	80	100*	125*	140	180	225
Ёмкость ковша	40	50	60	70	90	110	140	175
Грузоподъемность	280	320	360	400	450	450	500	560
Ёмкость ковша	220	250	280	300	330	350	385	430

**Примечание.** Ряд грузоподъемностей кранов, за исключением отмеченных звездочкой, соответствует ГОСТу 6509–61.

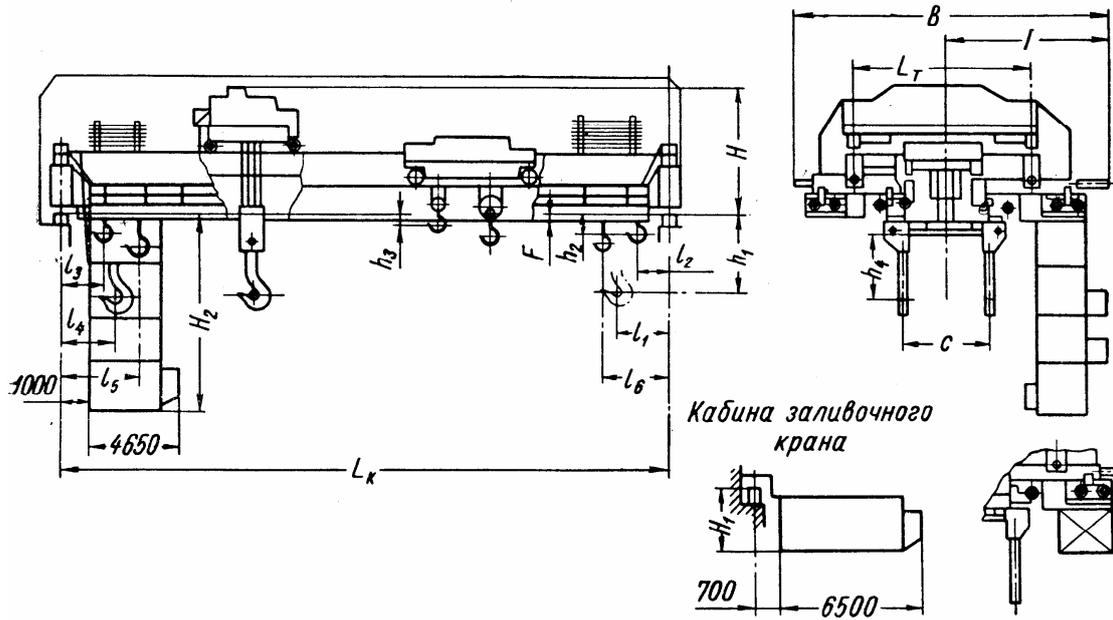


Рис. 1П14. Габаритный чертёж литейных кранов грузоподъёмностью 75–630 тс

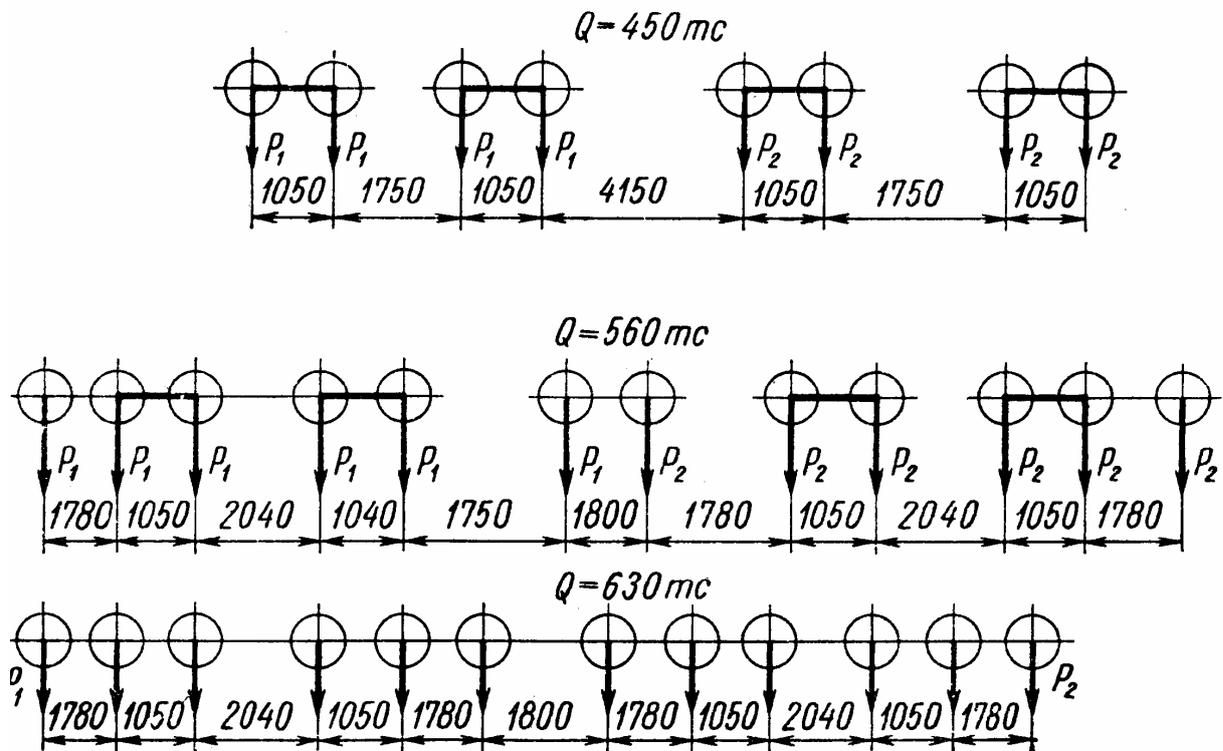


Рис. 2П14. (начало). Схемы расположения колёс кранов

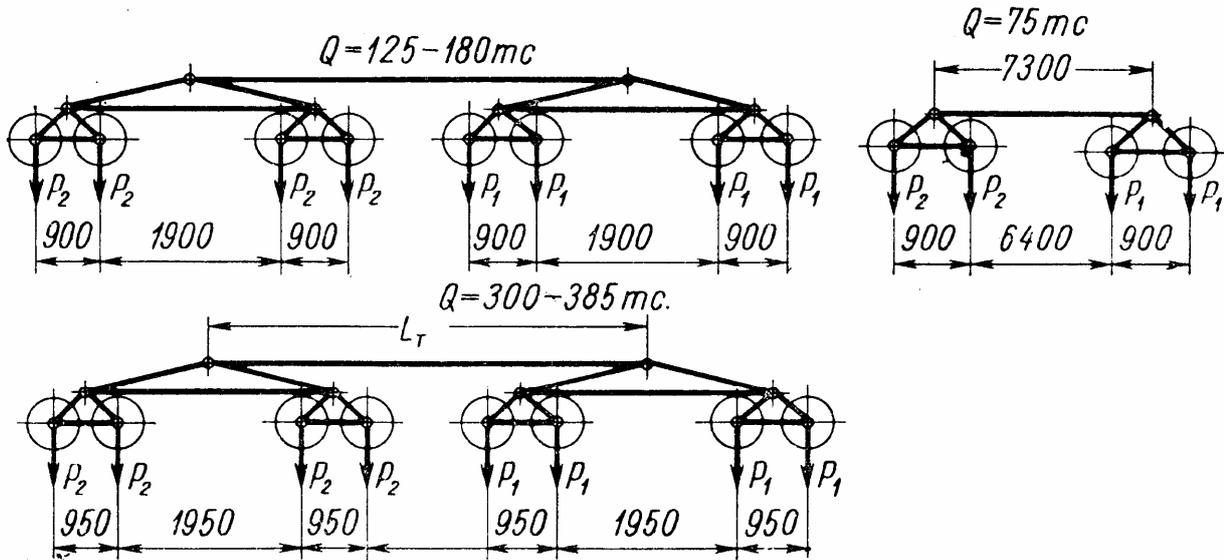


Рис. 2П14. (окончание). Схемы расположения колёс кранов

Т а б л и ц а 1 П 1 4

Основные габаритные размеры литейных кранов

Грузоподъёмность, т								
	75+	125+	180+	300+	385+	450+	560+	630+
	15	30	50	75/15	75/15	90/16	90/16	90/16
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пролёт крана, м	19,5–25,5	19–25	19–28	18,4–20	20	22	22	22
Давление на рельс в т (см. схему)								
$P_1$	49,0	36,0	48,0	58,0	72,0	87,5	77,0	80,0
$P_2$	44,0	34,0	45,5	62,0	77,5	94,0	83,0	84,0
Основные габаритные размеры, мм								
$L_T$	6300	7500	7500	7500	7500	8500	9500	–
$H$	4000	5200	5360	5890	5900	6140	7650	8000
$F$	670	260	450	120	110	130	160	200
$H_1$	2500	2500	2500	–	–	–	–	–
$H_2$	8300	8300	8300	9200	108700	12500	13500	13500
$J$ , залив	6400	6870	6870	–	–	–	–	–
$J$ , разлив	7400	8070	8070	8530	8500	8650	11300	11300
$B$ , залив	11600	13100	13100	–	–	–	–	–
$B$ , разлив	12600	14300	14300	15500	17000	11300	22600	22100

## Продолжение прил. 14

## Окончание табл. 1П14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Размеры, определяющие положение крюков, мм								
$l_1$	2250	2150	2250	4100	2700	3300	3700	4000
$l_2$	1900	2000	2350	2350	2600	2500	2100	2800
$l_3$	–	–	–	1600	1595	–	–	–
$l_4$	2000	2450	2450	3500	2900	3350	3600	4200
$l_5$	1400	1600	2200	3850	3890	4160	4360	4460
$l_6$	–	–	–	4600	4895	–	–	–
$c$	3050	3620	4250	4500	5000	5300	6000	6300
$h_1$	3750	3600	4300	5500	5750	6300	6500	7000
$h_2$	1000	1200	1700	1700	1700	2200	2200	2200
	–	–	–	1450	1400	–	–	–
Вес, т								
крана,	180	240	310	335	375	508	710	720
тележки 1	50	73	85	101	126	197	240	255
тележки 2	10	15	25	36	36	40	40	40

Грузоподъёмность вспомогательного подъёма крана определяется весом порожнего сталеразливочного ковша.

Конструкция и устройство современного крана грузоподъёмностью 125 + 30 т пролётом 25 м.

Мостовой электрический литейный кран имеет три основных узла: мост с механизмом передвижения и две тележки – главную и вспомогательную. Мост крана опирается на ходовые колеса.

Металлическая конструкция моста состоит из четырёх сварных продольных балок коробчатого сечения, связанных одна с другой двумя концевыми балками также коробчатого сечения.

По двум главным балкам, расположенным снаружи, перемещается главная тележка, по двум внутренним балкам, расположенным ниже главных, – вспомогательная тележка. Таким образом, вспомогательная тележка может проходить под главной и поэтому кантование ковшей осуществляется в обе стороны.

Главная тележка служит для транспортирования ковшей с жидким металлом. Вспомогательная тележка – для кантования ковшей, а также для производства различных ремонтных и уборочных работ.

Управление краном производится из теплоизолированной кабины, подвешенной к мосту крана, в которой имеется установка для кондиционирования воздуха. В кабине размещается аппаратура для управления краном.

Механизм передвижения крана выполнен с отдельным приводом ходовых колёс по схеме.

Мост крана шарнирно опирается с помощью балансиров на 16 ходовых колёс диаметром 700 мм. Четыре ходовых колеса из 16 приводные. Крутящий момент от электродвигателя постоянного или переменного тока каждого привода передаётся через редуктор и зубчатые муфты ходовому колесу. Каждый привод оборудован короткоходовым тормозом.

Обычно на одном рельсовом пути устанавливаются по несколько литейных кранов. Для смягчения ударов при наезде крана на кран или на тупиковые упоры, предусмотрены пружинные буферы.

Балансиры с ходовыми колёсами, зубчатые муфты, редукторы и тормоза механизмов передвижения литейных кранов применены из ряда унифицированных и нормализованных узлов.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ПРОФИЛИ ДЛЯ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК.....	5
1.1. Двутавровый профиль сечения из низколегированной стали .....	5
1.2. Оптимальное распределение материала по сечению балки.....	6
1.3. Сборные подкрановые балки из прокатных профилей .....	12
1.4. Эффективный уголкового профиля.....	20
1.5. Эффективный эллиптический профиль .....	28
2. КРАНОВЫЕ РЕЛЬСЫ.....	33
2.1. Крановые арочные рельсы.....	33
2.1. Крановый трапецеидальный рельс .....	36
2.3. Специальные конструкции рельсов для параллельных подкрановых балок средних рядов .....	41
3. РЕЛЬСОБАЛОЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И ИХ УЗЛЫ .....	44
3.1. Соединение рельсов с трубчатым поясом подкрановой балки .....	44
3.2. Узел упругого соединения трёхглавого рельса с подкрановой балкой.....	47
3.3. Узел сопряжения тормозной и подкрановой балки .....	49
3.4. Трёхглавый рельсовый блок для подкрановых балок .....	52
3.5. Рельсобалочная конструкция с двумя арочными трёхглавыми рельсами.....	58
3.6. Рельсобалочный блок конструкций для параллельных рельсовых путей.....	61
3.7. Подкраново-подстропильная балка, содержащая верхний и нижний пояса из труб .....	72
4. СПОСОБЫ РИХТОВКИ ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК.....	77
4.1. Способ управления неравномерными осадками здания на ленточных фундаментах .....	77
4.2. Управление неравномерными осадками и креном сооружения макрорегуляторами.....	79
4.3. Способ рихтовки разрезных подкрановых балок .....	84
4.4. Рихтовка каркаса здания при помощи фундамента макрорегулятора .....	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	90
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	91
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	97

Учебное издание

Нежданов Кирилл Константинович  
Кузьмишкин Алексей Александрович  
Гарькин Игорь Николаевич

## ПОДКРАНОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Учебное пособие

Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова

Редактор В.С. Кулакова  
Верстка Т.А. Лильп

---

Подписано в печать 6.06.14. Формат 60×84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 8,14. Уч.-изд.л. 8,75. Тираж 200 экз. 1-й завод 100 экз.  
Заказ № 179.



---

Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.