

# Повышение надежности и долговечности металлических стропильных ферм промышленного здания путем усиления поврежденных элементов

УДК 642.48

## Евтушенко С.И.

Д-р техн. наук, профессор, почетный работник высшего образования Российской Федерации, советник РААСН, член РОМГПФ, профессор кафедры «Информационные системы, технология и автоматизация строительства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва); e-mail: evtushenkosi@mgsu.ru

## Шутова М.Н.

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленное гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск); e-mail: Shutovapublish@mail.ru

## Артюхова Л.С.

Бакалавр по направлению «Строительство», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск); e-mail: neponyatnaya93@mail.ru

## Артюхов А.С.

Магистрант по направлению «Строительство», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск); e-mail: Eremenko.lyudmilka@yandex.ru

Статья получена: 20.10.2020. Рассмотрена: 21.10.2020. Одобрена: 30.11.2020. Опубликовано онлайн: 30.12.2020. ©РИОР

**Аннотация.** При работе конструкции в сложных условиях промышленного предприятия неизбежно проявляется ухудшение прочностных свойств и геометрических характеристик сечения металлических стропильных конструкций. При этом усиление элементов путем наварки дополнительных сечений не всегда увеличивает прочность и надежность конструкции, так как при

изменении сечения конструкция меняет статическую схему работы (вместо центрального сжатия наблюдается внецентренное сжатие элементов). Статья посвящена анализу методов усиления для повышения надежности элементов.

**Ключевые слова:** конструкции промышленных зданий, металлические фермы, усиление, стропильные фермы, повышение надежности.

## APPLICATION OF A COMPLEX APPROACH TO DETERMINING THE RELIABILITY AND RESIDUAL LIFE OF WOODEN STRUCTURES OF RESIDENTIAL BUILDINGS

### Evtushenko S.I.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Higher Education of Russia, Council of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Department "Information systems, technologies and construction automation", Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow; e-mail: evtushenkosi@mgsu.ru

### Shutova M.N.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Industrial Civil Engineering, Geotechnics and Foundations, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochechassk; e-mail: Shutovapublish@mail.ru

### Artyuhova L.S.

Bachelor's Degree Student, Course "Building", Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochechassk; e-mail: neponyatnaya93@mail.ru

### Artukhov A.S.

Master's Degree Student, Course "Building", Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochechassk; e-mail: Eremenko.lyudmilka@yandex.ru

**Manuscript received:** 20.10.2020. **Revised:** 21.10.2020. **Accepted:** 30.11.2020. **Published online:** 30.12.2020. ©RIOR

**Abstract.** When a structure operates in difficult conditions of an industrial enterprise, a deterioration in the strength properties and geometric characteristics of the section of metal rafter structures is inevitable. In this case, strengthening the elements by welding additional sections does not always increase the strength and reliability of the structure, since when the section changes, the structure changes the static scheme of work (instead of central compression, eccentric compression of the elements is observed). The article is devoted to the analysis of amplification methods to improve the reliability of elements.

**Keywords:** structures of industrial buildings, metal trusses, reinforcement, roof trusses, increased reliability.

Вариантное проектирование конструкций усиления позволяет выбрать оптимальную схему усиления. При проектировании конструктивно, без расчета, появляется высокая вероятность перерасхода материала, или же, наоборот, усиленное сечение не сможет обеспечить несущую способность конструкции.

Особое внимание следует обратить на соблюдение всех условий и требований при усилении ферм покрытия промышленных зданий, так как в промышленных цехах в большинстве своем — опасные производственные объекты.

При этом некоторые ученые предлагают сложные варианты усиления [1], для которых необходимо проводить трудоемкие расчеты. Также был разработан ряд технологий, позволяющих производить усиление стержней стальных стропильных уголкового ферм при полных расчетных нагрузках [2], т.е. позволяющий избежать разгрузки ферм (полной или частичной) при проведении ремонтных работ.

Основными способами усиления конструкций являются:

- увеличение площади поперечного сечения отдельных элементов конструкции;
- изменение конструктивной схемы всего каркаса или отдельных элементов его, в результате чего меняется расчетная схема;
- регулирование напряжений.

Кроме методов усиления, разработаны и конкретные узлы, защищенные патентом [3], или устройства и схемы усиления [4].

Рациональные методы усиления рассматриваются в работе [5]. Автор приходит к выводу, что за счет рационального сочетания указанных методов имеется возможность получения экономичного по расходу стали и трудоемкости изготовления конструктивного решения.

Широко распространены и комбинированные меры усиления стропильных ферм с помощью изменения их статических схем для стержней верхнего пояса и решетки и увеличения сечения для элементов нижнего пояса [6].

Усиление ферм покрытия проводилось для промышленного здания в г. Таганроге. Здание производственного корпуса построено и введено в эксплуатацию в 40-х гг. XX в. Здание кирпичное с неполным смешанным каркасом, размерами 90,0 × 120,0 м, высотой 12,2 м (по

верху фонаря). Пространственная устойчивость здания обеспечена жестким сопряжением колонн с фундаментами и с конструкциями покрытия, имеющими вертикальные и горизонтальные связи.

В здании предусмотрены встроенные помещения административно-бытового назначения: выполненные в виде двухэтажной антресоли; одноэтажные. Для доступа на второй этаж предусмотрены открытые лестницы.

Конструктивная схема здания производственного корпуса представляет собой неполный, равномерный, смешанный каркас, основными несущими элементами которого являются монолитные железобетонные колонны, стены с пилястрами, подстропильные железобетонные балки, стропильные металлические фермы со световыми фонарями. В период эксплуатации здания вследствие длительного замачивания грунта основания получили равномерные деформации, о чем свидетельствует отсутствие трещин в несущих стенах.

Исходя из вышесказанного, техническое состояние оснований и фундаментов здания оценивается как работоспособное.

Несущими конструкциями каркаса являются двухконсольные, одноветвевые, монолитные железобетонные колонны и металлические фермы. Кровля скатная наплавленная в несколько слоев общей толщиной 50 мм, по цементно-песчаной стяжке толщиной 40 мм, уложенной по известково-песчаному слою толщиной 100 мм. Несущими конструкциями кровли служат железобетонные плиты покрытия [4–7]. Общий вид цеха показан на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид помещения производственного корпуса

Основными дефектами, снижающими несущую способность и эксплуатационную надежность, являются:

- 1) для монолитных железобетонных конструкций (колонн, балок) — разрушение защитного слоя бетона с оголением и коррозией арматуры, на локальных участках разрушение бетона в теле колонн;
- 2) для ограждающих конструкций (несущих стен) — выветривание цементно-песчаного раствора из швов кладки; размораживание и разрушение кирпича на глубину до 120 мм, разрушение и отслоение штукатурного слоя; сквозные трещины в зоне опирания подкрановых балок;
- 3) для конструкций покрытия (металлических) — деформация элементов ферм, в том числе прогибы раскосов, стоек, нижнего пояса, верхнего пояса, вертикальных и горизонтальных связей, пластинчатая коррозия прогонов в ендовах;
- 4) для железобетонных плит покрытия в ендове — разрушение защитного слоя, пластинчатая коррозия арматуры;
- 5) для кровли — разрушение гидроизоляционного ковра (течи), нарушена герметичность примыкания гидроизоляционного ковра к вертикальным поверхностям, размораживание и нарушение кирпичной кладки парапетов на глубину до 40 мм, ветхие конструкции фонаря с отсутствием остекления на локальных участках;
- 6) для металлических ферм наблюдается поверхностная и глубокая коррозия элементов, локальные искривления. Несущая способность и жесткость некоторых элементов фермы недостаточна, необходимо усиление этих стержней (рис. 2).

Был проведен поверочный расчет стропильной фермы с учетом изменившихся снеговых нагрузок [8]. Результаты расчета представлены на рис. 3 (критические факторы) и на рис. 4 (продольные усилия).

Элементы 24, 25, 27, 38 имеют критический фактор выше 1,0 и требуют усиления.

Элементы 32 и 39 имеют минимальный коэффициент запаса и гибкость, превышающую предельно допустимую:

- для элемента 32 гибкость  $\lambda = 314/2,29 = 137 > 120$ ;

- для элемента 39 гибкость  $\lambda = 120315/1,997 = 158 > 120$ .

Следовательно, элементы 32 и 39 требуют усиления.



Рис. 2. Деформация элементов вертикальной связи стропильной фермы

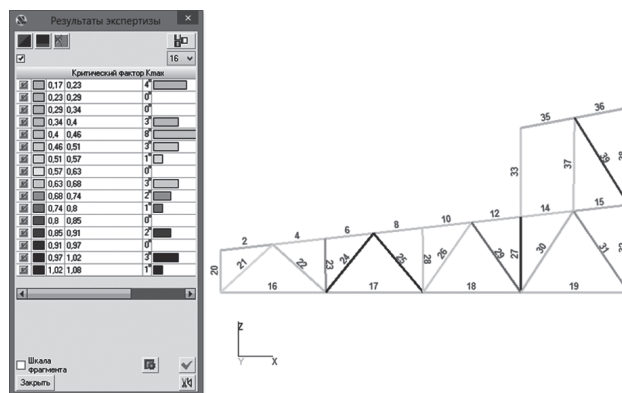


Рис. 3. Результаты экспертизы сечений фермы Ф1

Устойчивость сжатых стержней верхнего пояса из плоскости фермы обеспечена, так как при равных расчетных длинах в плоскости и из плоскости фермы стержней верхнего пояса (опирание прогонов во всех узлах верхнего пояса) радиус инерции относительно оси  $Y$  двух уголков при толщине фасонки 10 мм больше радиуса инерции уголка относительно оси  $X$ .

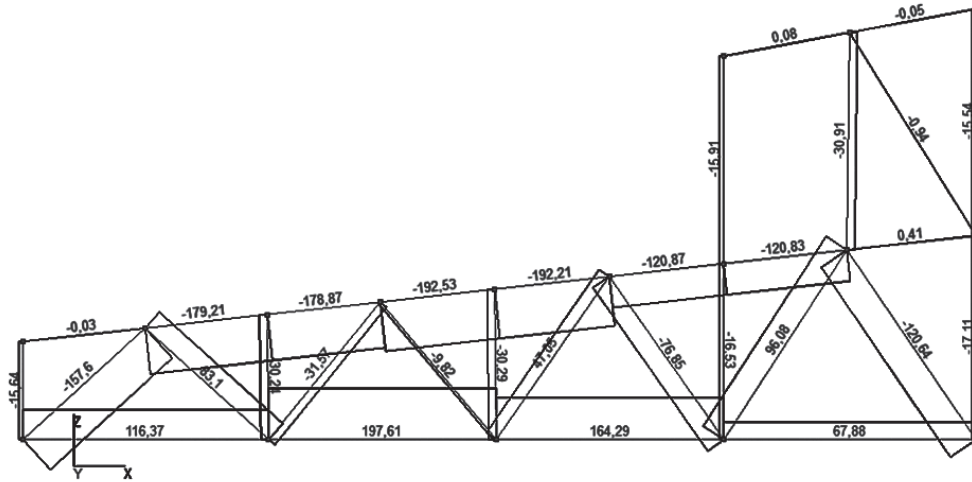


Рис. 4. Расчетные усилия в элементах фермы,  $N$ , кН

Результаты расчета для усиливаемых стержней представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета для усиливаемых стержней

№ стержня	Сечение	Коэффициент критич.	$N_{кр}$ , кН	$Q_{кр}$ , кН	$M$ , кН*м
24	2 L 50 × 5	1,08	-31,5705	-0,075625	0,051755
25	2 L 50 × 5	1,08	-9,8215	0,054654	0,078613
27	2 L 50 × 5	1,02	-16,5318	-0,0003	0,000203
38	2 L 75 × 8	1,08	-15,544	-0,005777	0,00485

Были рассмотрены три варианта усиления, согласно рекомендациям [9] и [10]. В первом варианте к стержням привариваются уголки равнополочные 40 × 3 по ГОСТ 8509-93 снизу (рис. 5).

Во втором варианте к стержням привариваются уголки равнополочные 40 × 3 по ГОСТ 8509-93 сверху (рис. 6).

В третьем варианте к стержням привариваются уголки равнополочные 45 × 3 по ГОСТ 8509-93 снизу (рис. 7).

С учетом изменившейся формы поперечного сечения были рассчитаны характеристики усиленного сечения.

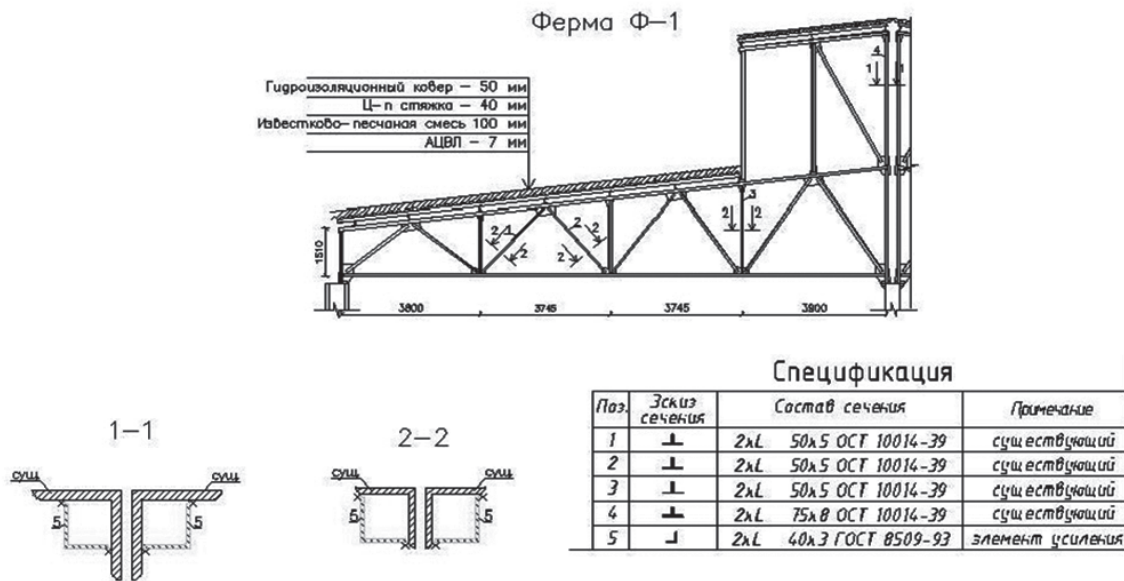


Рис. 5. Вариант усиления № 1

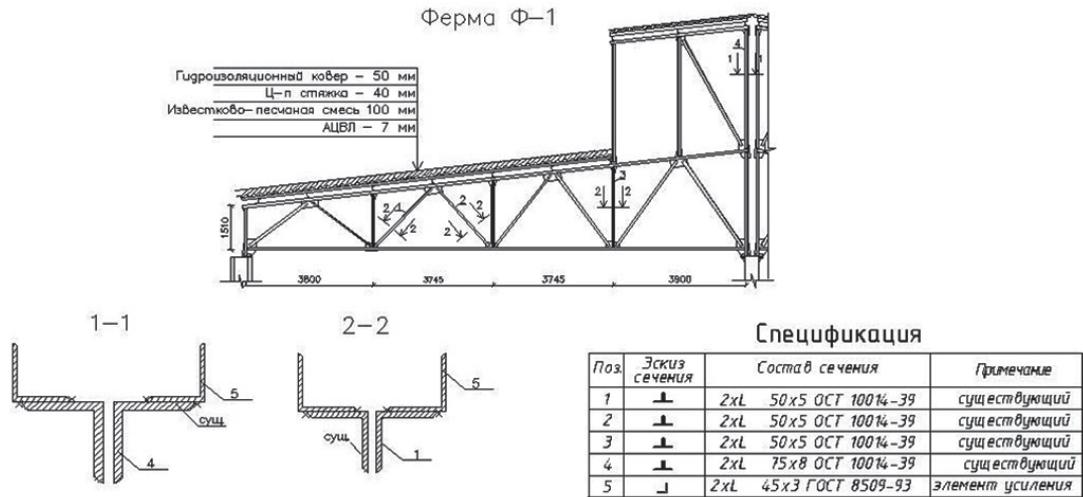


Рис. 6. Вариант усиления № 2

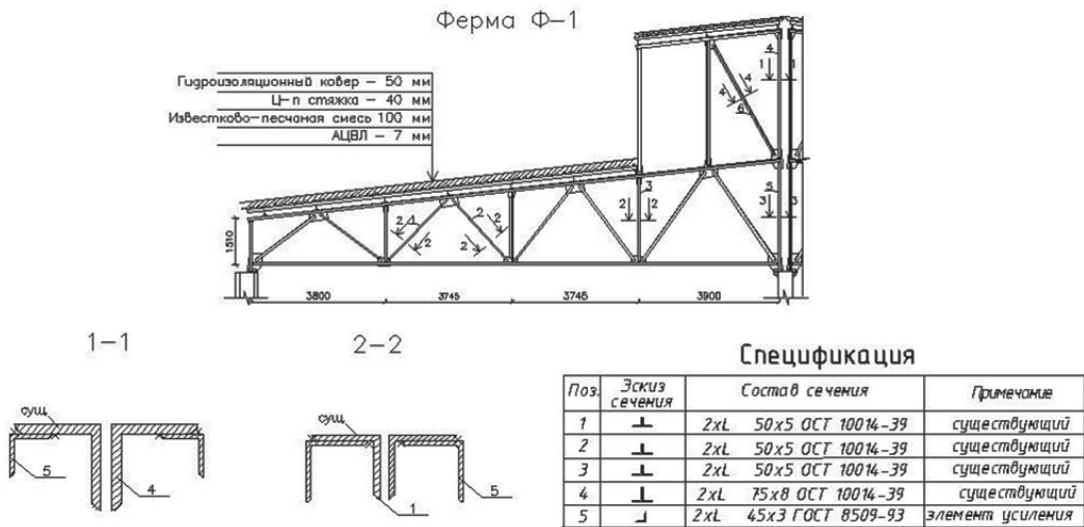


Рис. 7. Вариант усиления № 3

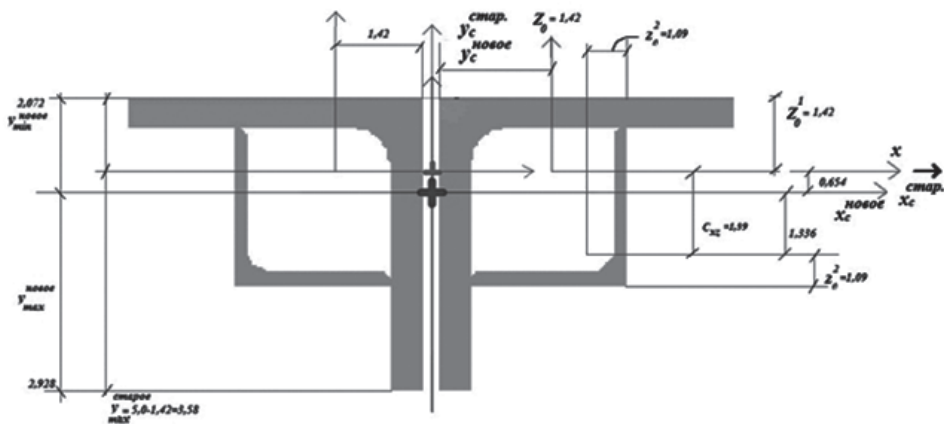


Рис. 8. К расчету геометрических характеристик сечения

$$I_{xc}^{\text{стар}} = 11,2 \cdot 2 = 22,4 \text{ см}^4;$$

$$W_{\text{max}} = \frac{22,4}{1,42} = 15,7746 \text{ см}^3;$$

$$W_{\text{min}} = \frac{22,4}{3,58} = 6,257 \text{ см}^3.$$

Выбираем вспомогательную ось  $x$ , проходящую через  $x_{c1}$  старого сечения ( $y_x^{\text{ст}} < y_y^{\text{ст}}$ ).

Появление двух симметричных уголков не изменит положение оси  $y_{\text{ст}}$ , а ось  $x$  сместится вниз.

$$y_c = \frac{\sum_{i=2}^2 A_i \cdot C_{xi}}{\sum_{i=1}^2 A_i} = \frac{2,35 \cdot ((4,0 - 1,09 - 1,42) + 0,5) \cdot 2}{(4,8 + 2,35) \cdot 2} = 0,654 \text{ см}.$$

Осевой момент инерции относительно новой оси  $x_c^{\text{нов}}$  равен:

$$I_{xc} = [11,2 + 4,8 \cdot (0,654)^2] \cdot 2 + [3,55 + 2,35 \cdot (1,336)^2] \cdot 2 = 41,995 \text{ см}^3;$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_{xc}}{\sum_{i=1}^n A_i}} = \sqrt{\frac{41,995}{14,3}} = 1,713684;$$

$$W_{xc}^{\text{min}} = \frac{I_{xc}}{y_{\text{min}}} = \frac{41,995}{(1,42 + 0,654)} = 20,248 \text{ см}^3;$$

$$W_{xc}^{\text{max}} = \frac{I_{xc}}{y_{\text{max}}} = \frac{41,995}{2,928} = 14,3425 \text{ см}^3.$$

Полученные геометрические характеристики для трех вариантов усиления сведены в табл. 2. Простое сжатие короткой стойки (жесткой):

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{30000}{11,5 \cdot 2} = 1304 \text{ Н/см}^2.$$

Расчет производится для варианта усиления № 1.

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{30000}{11,5 \cdot 2 + 2,35 \cdot 2} = 1083 \text{ Н/см}^2.$$

$$100\% \cdot \frac{1304 - 1083}{1304} = 16,95\%.$$

Снижение нормальных напряжений от сжатия на 16,95%.

Появление эксцентриситета  $e = 0,2647 \text{ см}$ .

$$\sigma_{\text{min}}^M = + \frac{N \cdot e_{y\text{max}}}{W_{\text{max}}} = - \frac{30000 \cdot 0,2647}{53,333} = -148,9.$$

$$\sigma_{\text{max}}^M = \frac{30000 \cdot 0,2647}{25,3248} = +313,567.$$

Суммарные напряжения в верхней части (в основном это старое сечение стойки) увеличатся вследствие эксцентриситета, но не превысят напряжение от простого сжатия до усиления.

$$\sigma_{\text{min}} = - \frac{N}{A} - \frac{M}{W_{\text{max}}} = -1083 - 148,9 = 1231,9 \text{ кН/см}^2.$$

$$\sigma_{\text{max}} = - \frac{N}{A} + \frac{M}{W_{\text{min}}} = -1083 + 313,567 = -769,433 \text{ кН/см}^2.$$

Таблица 2

Геометрические характеристики сечения элементов стропильной фермы с учетом усиления

Вариант усиления	Сечение исход.	Схема усиления	Уголок для усиления	Характеристики						
				$S, \text{ см}^2$	$I_x, \text{ см}^4$	$I_y, \text{ см}^4$	$i_y, \text{ см}$	$i_z, \text{ см}$	$W_y, \text{ см}^3$	$W_x, \text{ см}^3$
1	2 L 50 × 5		2 L 40 × 3	14,3	116,345	42,066	1,714	2,852	20,233	23,374
1	2 L 75 × 8		2 L 40 × 3	27,7	327,59	137,249	2,226	3,439	56,683	42,544
2	2 L 50 × 5		2 L 45 × 3	14,9	151,089	56,665	1,95	3,184	12,558	27,979
2	2 L 75 × 8		2 L 45 × 3	28,3	495,765	180,007	2,522	4,185	30,184	62,755
3	2 L 50 × 5		2 L 45 × 3	14,9	164,875	33,102	1,491	3,326	21,638	28,925
3	2 L 75 × 8		2 L 45 × 3	28,3	495,765	131,092	2,152	4,185	61,509	62,755

То есть снижение нормальных напряжений в наиболее нагруженных (крайних) точках сечения составляет  $\frac{1304-1231,9}{1304} \cdot 100\% = 5,53\%$ .

Раскосы и стойки ферм, поперечное сечение которых состоит из двух уголков, являются гибкими, и по нормам требуется расчет на устойчивость с определением критической силы.

$$F_{сч} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{(\mu l)^2}.$$

Для ферм в расчетах принимают шарнирное соединение элементов, таким образом, принимаем  $\mu = 1,0$ .

Условие прочности имеет вид (17.13; с. 352 [10])

$$\sigma_{сч} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_{\max}^2} \leq \sigma_{пр}.$$

То есть учитывается гибкость элемента фермы  $\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}$  формула Эйлера для критической силы применена, при гибкости  $\lambda_{\max} > 100$ .

При расчете стоек и элементов ферм на устойчивость допустимое напряжение снижается на величину коэффициента  $\varphi$  (табл. 17.1; с. 367 [10]), который зависит от гибкости.

Для центрально сжатой гибкой стойки или раскоса условие прочности имеет вид:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \varphi[\sigma].$$

Используя условия прочности, решают три типа задач (§17.7 [11]):

- конструктивную — подбирают поперечное сечение элемента;
- проверочную — проверяют устойчивость стойки при известной нагрузке и поперечном сечении;
- эксплуатационную — определяют допустимую нагрузку.

#### Проверочный расчет

При заданном поперечном сечении до усиления стойки находим минимальный радиус инерции

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}}.$$

Затем находим максимальную гибкость принимая длину стойки  $l = 370,9$  см,

$$\lambda_{\max} = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} = \frac{1,0 \cdot 370,9}{1,27} = 163,4.$$

Интерполяцией находим  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{(0,29-0,26)}{10} \cdot 6,6 + 0,26 = 0,28.$$

Для ст. 3 допустимое напряжение

$$\sigma_{adm}^c = 160 \text{ МПа}.$$

Тогда допустимое усилие на стойку:

$$F_{adm}^c = \varphi \cdot \sigma_{adm}^c \cdot A = 0,28 \cdot 160 \cdot 23 = 103 \text{ кН}.$$

Усиленное сечение стойки № 38 имеет следующие характеристики:  $e = 0,2647$  см,  $A = 27,7$  см<sup>2</sup>,  $I_{xc} = 128,784$  см<sup>4</sup>,  $i_x = 2,156212$  см<sup>2</sup>,  $W_x^{\max} = 53,333$  см<sup>3</sup> на сжатие,  $W_x^{\min} = 25,3248$  см<sup>3</sup> на растяжение.

Характеристики стойки до усиления:

$A = 23$  см<sup>2</sup>,  $I_{xc} = 119,68$  см<sup>4</sup>,  $i_x = 2,28$  см,  $W_x^{\max} = 55,655$  см<sup>3</sup>,  $W_x^{\min} = 22,37$  см<sup>3</sup>.

Определим гибкость усиленного сечения

$\lambda_{\max} = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} = \frac{1,0 \cdot 370,9}{2,156212} = 172 < 180$ , гибкость увеличилась на 5,26%.

$$\frac{(163,4-172)}{163,4} \cdot 100\% = 5,26\%.$$

Коэффициент снижения допустимого давления находим

$$\varphi = \frac{(0,26-0,23) \cdot 8,0}{10} + 0,23 = 0,254.$$

$F_{adm}^c = 0,254 \cdot 160 \cdot 27,7 = 11,257 \text{ т} = 112,57 \text{ кН}.$

Допустимая критическая сила увеличилась на 9,3%

$$\frac{112,57-103}{103} \cdot 100\% = 9,29\%.$$

Таким образом, при увеличении критической силы происходит также увеличение надежности и долговечности металлических конструкций за счет увеличения сечения поврежденных коррозией элементов.

## Литература

1. Яровой С.Н. Сложные варианты усиления стропильных ферм конструкций покрытия производственных зданий [Текст] / С.Н. Яровой и др. // Строительная механика и расчет сооружений. — 2016. — № 1. — С. 70–76.
2. Прошин И.В. Экономические аспекты усиления стропильных ферм покрытий промышленных зданий [Текст] / И.В. Прошин, И.И. Родионов // Молодежь и XXI век-2015. — 2015. — С. 309–312.
3. Марунов В.И. Устройство для усиления стропильных ферм [Текст] / В.И. Марунов, П.И. Калугин. — 1983.
4. Силенко В.П. Практический метод усиления стропильных ферм [Текст] / В.П. Силенко, В.Н. Ардеев, К.В. Ардеев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2010. — № 2. — С. 114–117.
5. Сергеева К.М. Рациональные методы усиления стальных стропильных ферм [Текст] / К.М. Сергеева // Вестник Псковского государственного университета. Серия «Технические науки». — 2018. — № 7. — С. 16–21.
6. Купченко Ю.В. Усиление стальной стропильной фермы комбинированным способом [Текст] / Ю.В. Купченко // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. — 2017. — № 1. — С. 75–77.
7. Комарова Н.Д. Основные методы и приемы восстановления металлических конструкций [Текст] / Н.Д. Комарова, К.С. Глушенко // Университетская наука. — 2019. — № 2. — С. 37–43.
8. Заключение о техническом состоянии конструкций здания производственного корпуса, расположенного по адресу: Ростовская область, г. Таганрог, Северная площадь 3, техн. отчет к заключ. № 20-06-19-ОСК / С.К. Вошинская, М.А. Хлупин. — Новочеркасск, 2019. — 160 с.
9. Макаревич А.В. Усиление металлических конструкций производственных зданий [Текст] / А.В. Макаревич // Международный студенческий строительный форум-2017. — 2017. — С. 169–174.
10. Плевков В.С. Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий [Текст] / В.С. Плевков, А.И. Мальганов, А.И. Полищук. — 1990.
11. Волосухин В.А. Сопrotивление материалов [Текст]: учебник / В.А. Волосухин, В.Б. Логвинов, С.И. Евтушенко. — М.: РИОР: ИНФРА-М, 2014. — 543 с.

## References

1. Jarovoj S.N. Slozhnye varianty usilenija stropil'nyh ferm konstrukcij pokrytija proizvodstvennyh zdaniy [Complex options for strengthening the roof trusses of industrial buildings]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij* [Structural mechanics and calculation of structures]. 2016, I. 1, pp. 70–76.
2. Proshin I.V., Rodionov I.I. Jekonomicheskie aspekty usilenija stropil'nyh ferm pokrytij promyshlennyh zdaniy [Economic aspects of strengthening the roof trusses of industrial buildings]. *Molodezh' i XXI vek-2015* [Youth and XXI century-2015]. 2015, pp. 309–312.
3. Marunov V.I., Kalugin P.I. *Ustrojstvo dlja usilenija stropil'nyh ferm* [Device for strengthening the trusses]. 1983.
4. Silenko V.P., Ardeev V.N., Ardeev K.V. Prakticheskij metod usilenija stropil'nyh ferm [Practical method of strengthening rafter trusses]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University]. 2010, I. 2, pp. 114–117.
5. Sergeeva K.M. Racional'nye metody usilenija stal'nyh stropil'nyh ferm [Rational methods of strengthening steel truss trusses]. *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehničeskie nauki* [Bulletin of the Pskov State University. Series: Engineering Sciences]. 2018, I. 7, pp. 16–21.
6. Kupchenko Ju.V. Usilenie stal'noj stropil'noj fermy kombinirovannyim sposobom [Strengthening the steel truss by the combined method]. *Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i reshenija* [Security of the building fund of Russia. Problems and solutions]. 2017, I. 1, pp. 75–77.
7. Komarova N.D., Glushhenko K.S. Osnovnye metody i priemy vosstanovlenija metallicheskih konstrukcij [Basic methods and methods of restoration of metal structures]. *Universitetskaja nauka* [University Science]. 2019, I. 2, pp. 37–43.
8. Zaklyuchenie o tekhničeskome sostoyanii konstrukcij zdaniya proizvodstvennogo korpusa, raspolozhennogo po adresu: Rostovskaya oblast', g. Taganrog, Severnaya ploshchad' 3, tekhn. otchet k zaklyuch. № 20-06-19-OSK / S.K. Voshchinskaya, M.A. Hlupin. Novocherkassk, 2019. 160 s.
9. Makarevich A.V. Usilenie metallicheskih konstrukcij proizvodstvennyh zdaniy [Strengthening the metal structures of industrial buildings]. *Mezhdunarodnyj studencheskij stroitel'nyj forum-2017* [International student construction forum-2017]. 2017, pp. 169–174.
10. Plevkov V.S., Mal'ganov A.I., Polishchuk A.I. *Vosstanovlenie i usilenie stroitel'nyh konstrukcij avarijnyh i rekonstruiruemih zdaniy* [Restoration and strengthening of building structures of emergency and reconstructed buildings]. 1990.
11. Volosuhin V.A., Logvinov V.B., Evtushenko S.I. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Moscow: RIOR: INFRA-M Publ. 2014. 543 p.