

УДК 624.014.2

**А. В. Голиков, О. Н. Вольская, Е. О. Петин**

*Волгоградский государственный технический университет*

### **РАБОТА ПОД НАГРУЗКОЙ И ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ УЗЛОВЫХ ПЛАСТИН В ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМАХ**

В современном строительстве все чаще отказываются от ферм из парных уголков по причине их низкой экономической эффективности. Указанный недостаток обусловлен использованием устоявшихся в практике, но нерациональных решеток ферм, неэффективностью методики назначения параметров фасонки и отсутствием рекомендаций по направлениям совершенствования ее конструкции. Результаты исследований действительного характера работы фасонки в составе фермы и учет фактического распределения полей напряжений в ней позволят назначать оптимальные размеры пластины и усовершенствовать ее конструкцию. Для решения данной инженерной задачи выполнен расчет напряжений в фасонках по существующим в практике методам расчета и проведено сравнение их с результатами численного расчета 3D-моделей узлов в составе пространственных моделей ферм. Также рассмотрены результаты исследований усовершенствованных типов решетки ферм из парных уголков и конструкции фасонки, усовершенствованные на основе анализа их действительного напряженно-деформированного состояния.

**Ключевые слова:** шарнирно-стержневая система, решетка фермы, парные уголки, фасонка, напряженно-деформированное состояние, рациональное решение, конструирование, модель узла, методика расчета.

#### **Введение**

В современном строительстве все большее место занимают стальные конструкции ввиду своей легкости, высокой несущей способности и индустриальности. Одним из основных факторов, определяющих работу стальных стержневых систем, является принятый тип сопряжения стержней в узлах. Как правило, это шарнирное соединение, выполняемое при помощи соединительных пластин-фасонок. Применение узловых фасонок для соединения стержневых систем позволяет обеспечить свободу поворота стержня в узле в двух расчетных направлениях — в плоскости и из плоскости фермы. Однако при подборе параметров пластины ее геометрические размеры определяют по требуемой длине сварных швов, а толщину — по таблицам в зависимости от максимального усилия в стержнях, что не учитывает реальные механизмы работы узловых пластин, действительное распределение полей напряжений и локальные концентраторы в зоне сварных швов.

Пластины сопряжения в стальных стержневых системах являются одними из наиболее нагруженных элементов, т. к. через них напряжения передаются и распределяются между всеми элементами, составляющими узел. Ввиду несимметричного нагружения, наличия концентраторов напряжения, а также наличия локальных ослаблений сечения в зонах сварных швов или технических отверстий под болтовые соединения фасонка испытывает сложное напряженно-деформированное состояние (НДС), что непосредственно

влияет на работу всей системы. В соответствии с требованиями СП 16.13330.2017 фасонки ферм относятся к первой группе конструкций<sup>1</sup>.

*Цель работы* — установление и формализация явлений распределения полей действительных напряжений в узловых пластинах с обоснованием путей совершенствования их формы.

*Объект исследования* — узловые пластины сопряжения стержневых конструкций.

*Предмет исследования* — явление распределения полей напряжений, конструктивная форма узловых пластин.

*Задачи:*

1. Выполнить обзор исследований НДС фасонки, распределения напряжений в ней и рекомендации по подбору сечений.

2. Описать характер работы пластин под нагрузкой в составе ферм, сферы применимости.

3. Выбрать типовые узлы, наиболее распространенные в стальных стержневых системах.

4. Произвести численное моделирование выбранных типов узлов в программном комплексе для расчета полей напряжений.

5. Исследовать работу пластины: распределение полей напряжений, локализация концентраторов напряжений, выявление опасных зон.

6. Предложить рекомендации по совершенствованию конструктивных решений ферм со стержнями из уголков и размеров фасонки.

#### **Обзор исследований НДС узловых пластин в шарнирно-стержневых системах**

Основы методики расчета соединительных пластин заложены в начале XX в. в работах профессора Н. С. Стрелецкого [1]. Он рассматривал расчет соединительных пластин тяжелых и легких ферм при клепанном, болтовом и сварном соединении с точки зрения осевого сжатия пластины. При этом расчет ведется исходя из требований устойчивости и гибкости соединительной пластины (рис. 1, а).

Согласно рекомендациям Н. С. Стрелецкого, при подборе сечения гибкость соединительной пластины должна быть не меньше устойчивости всего стержня. При соблюдении этого условия выпучивание стенки пластины не произойдет раньше потери устойчивости всего стержня.

В более поздних публикациях по анализу работы стальных конструкций не уточняется неравномерность и нелинейность распределения напряжений в пластине, что ведет к необходимости проверки наиболее нагруженных узлов стыковки элементов решетки с поясом. Расчет следует выполнять не только на осевую силу, но и на момент, возникающий от эксцентриситета действия силы относительно центра тяжести сечения, для исключения развития искривлений и потери устойчивости.

В дальнейших работах приводится описание распределения напряжений в фасонке и характера ее работы (рис. 1, б). С учетом накопленной информации о действительной работе соединительных пластин данное распределение нельзя считать полностью корректным, т. к. в околошовной зоне фасонки

<sup>1</sup> СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456069588?ysclid=lsqdtlte7j116099401>.

происходит образование локальных концентраторов, вносящих существенный вклад в работу пластины.

Большинство последующих работ [2—4] рекомендуют использовать указанные зависимости толщин фасонки от значения максимальных усилий в стержнях без обоснования их расчетом. Наиболее полная информация по работе узлов и методикам расчета напряжений в стержнях приведена в работе А. А. Абарина [5] со ссылками на рекомендации ЦНИИпроектстальконструкция [6]. В указанных рекомендациях приведены методы расчета типовых узлов и методы определения усилий в узле из условия обеспечения устойчивости.

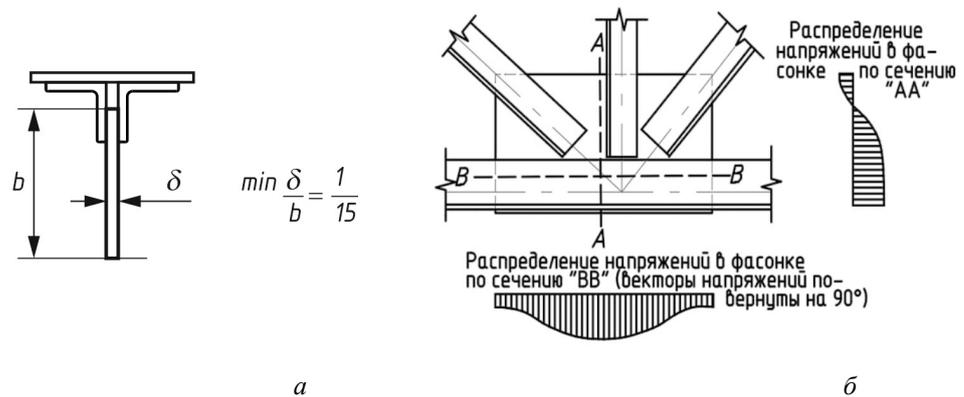


Рис. 1. Рекомендации по конструированию фасонки согласно курсу металлических конструкций Н. С. Стрелецкого [1]: *a* — по соотношению между толщиной и высотой фасонки; *б* — предложенный характер распределения напряжений в фасонке

Фасонки для соединения стержней ферм продолжают применять в современной практике строительства, что отражено в работах [7—13].

Работы по изучению НДС пластин ведутся также в иностранных научных школах [14, 15]. Последние 5...7 лет в работах ряда ученых [16—26] активно ведутся исследования поведения диафрагм жесткости высотных зданий, выполненных в виде большеразмерных стальных пластин, размерами на высоту этажа.

Представленная работа является обобщением и продолжением ранее проведенных исследований [27].

#### Объект исследования и исходные данные

Объектом исследования являются пластины сопряжения узлов стальных стержневых систем из равнополочных уголков. На данный момент тяжелые фермы из уголков считаются устаревшими и неэффективными с экономической точки зрения. Основной причиной такой точки зрения является значительный расход материала на стержни и соединительные пластины. Однако фермы такой конструкции имеют и ряд преимуществ по сравнению с фермами из гнутосварных замкнутых профилей и других видов проката, в т. ч.:

- легкая собираемость ферм за счет возможности устройства черновых отверстий;
- качественное соединение элементов за счет применения фланговых швов требуемой расчетной длины;

• возможность перекрывать большие пролеты, воспринимая значительные нагрузки.

Основные требования к стальным конструкциям, приведенные в СП 16.13330.2017, учтены авторами статьи при проведении исследований.

Основными параметрами исследуемых моделей являются: тип узла, характер распределения нагрузок на узел (усилия со стороны стержней). Для исследования работы соединительных пластин созданы расчетные схемы узлов фермы (рис. 2) по серии 1.160.2-10/88. Схемы исследуемых узлов представлены в табл. 1.

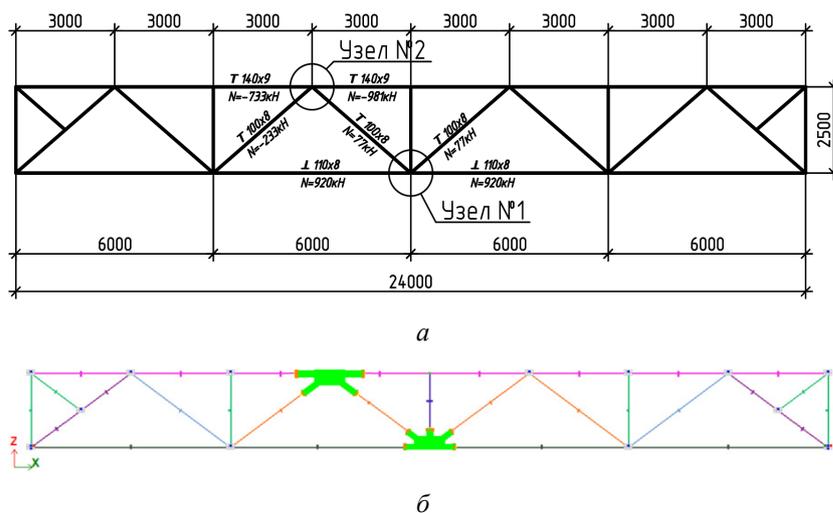


Рис. 2. Схема рассматриваемой фермы: *а* — геометрическая схема с маркировкой исследуемых узлов; *б* — пространственная расчетная схема в ПК ЛИРА-САПР

Таблица 1

Схемы исследуемых узлов

№ узла	Тип узла	Схема
1	Центральный узел нижнего пояса	
2	Узел средней панели верхнего пояса	

Пространственные модели разработаны в программном комплексе ПК ЛИРА-САПР и представлены на рис. 3.

При моделировании узлов учитывались приведенные в многочисленных источниках рекомендации по подбору толщин фасонок в зависимости от расчетных усилий в стержнях. Рассчитываемая ферма смоделирована в расчетном комплексе ПК ЛИРА-САПР на действие условной равномерно-распределенной нагрузкой в 24 тс/м. Нагрузка прикладывалась в узлы ферм. По результатам расчета получены следующие значения наибольших усилий в стержнях: для узла 1  $N = 257$  кН, для узла 2  $N = -990$  кН.

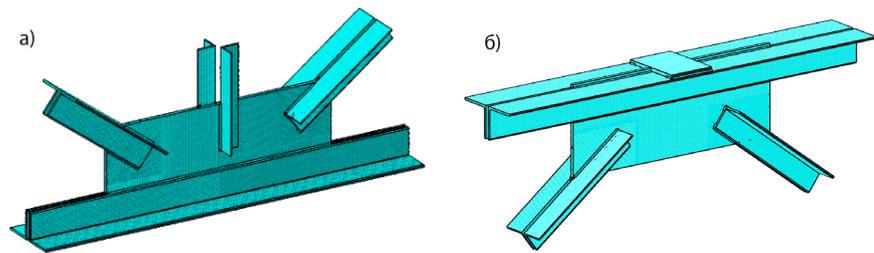


Рис. 3. Пространственные модели узлов: а — узел 1; б — узел 2

Согласно предлагаемым рекомендациям, как в книге А. А. Абаринова (табл. 2), так и в современных учебниках (табл. 3), требуемая толщина фасонки принята 10 мм и 16 мм соответственно (с учетом коэффициента надежности).

Таблица 2

Рекомендуемые толщины фасонок по А. А. Абаринову [5]

Строительные фермы		Подстроительные фермы			
		Все узлы, кроме нижнего и среднего		Средний и нижний узлы	
$N$ , тс в раскосах	$\Delta$ , мм	$N$ , тс	$\Delta$ , мм	$N$ , тс	$\Delta$ , мм
$\leq 15$	6	$\leq 20$	8	$\leq 50$	12
16...25	8	21...40	10	51...100	16
26...40	10	41...60	12	101...160	20
41...60	12	61...80	14	161...225	22
61...100	14	81...140	16		
101...140	16	141...180	18		
141...180	18	181...230	20		
181...200	20	231...280	25		

Таблица 3

Рекомендуемые толщины фасонок [28]

Усилие в стержнях решетки, кН	$\leq 250$	260...450	460...800	810...1200	1210...1700
Толщина фасонок, мм	8	10	12	14	16

Геометрические размеры фасонки принимаются из условия прочности сварных швов:

узел 1 — пластина размерами 630×365 мм, толщиной 10 мм;

узел 2 — пластина размерами 590×290 мм, толщиной 16 мм.

Конечные элементы при моделировании приняты объемными, с размером стороны не более 5 мм. Модели узлов включены в работу пространственной стержневой модели фермы через жесткие связи.

Расчет первой модели позволил визуализировать распределение полей напряжений, представленное на рис. 4, *а*. По мозаике напряжений видно, что основными концентраторами напряжений являются зоны примыкания стержней нижнего пояса к фасонке. Анализ распределения полей напряжений в пластине позволяет сделать вывод, что большая часть пластины работает в зоне минимальных напряжений от 0 до 170 МПа (рис. 4, *б*). Из этого следует, что большая часть пластины работает неэффективно.

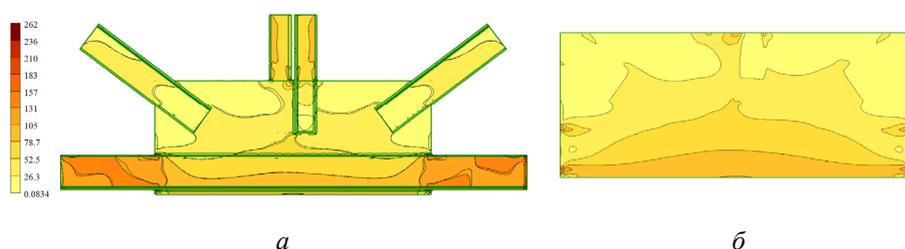


Рис. 4. Поля напряжения в узле 1: *а* — в узле в целом; *б* — в фасонке

Расчет второй модели позволил визуализировать распределение полей напряжений, представленное на рис 5, *а*. По результатам анализа локализованы основные концентраторы напряжений — зоны примыкания наиболее нагруженного стресса верхнего пояса, а также зоны возле сварных швов крепления пластины балки покрытия. Следует отметить, что данный элемент принимается конструктивно, для него не выполняется расчет на прочность. Из моделирования видно, что в зоне сварных швов могут возникать существенные напряжения с последующим развитием трещин в швах. Результаты обследований подтверждают реализацию данного явления.

Напряжения в указанных локальных зонах превышают расчетное сопротивление стали, что приводит к развитию пластических деформаций. Распределение полей напряжений в фасонке приведено на рис. 5, *б*.

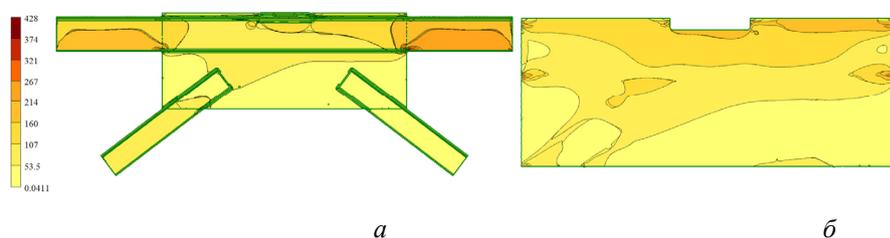


Рис. 5. Поля напряжения в узле 2: *а* — в узле в целом; *б* — в фасонке

Очевидно, что наибольшие напряжения сконцентрированы в зонах примыкания наиболее нагруженного стрелы. При этом напряжение в этих областях превышает допустимые значения, исходя из требований первого предельного состояния, в данных зонах происходит возникновение пластических деформаций. Остальная часть пластины работает с большим запасом, напряжения в ней находятся в диапазоне от 0 до 180 МПа. Таким образом, подбор параметров фасонки по эмпирическим таблицам нерационален, поскольку для опасных участков напряжения достигают предела текучести стали, а для остальной части пластины напряжения неоправданно низкие.

Наиболее значимой проблемой, связанной с подбором фасонки, является некорректность выбора точки, относительно напряжений в которой производится подбор и проверка фасонки. Согласно устоявшейся практике предполагается, что наибольшие напряжения в фасонке возникают близко к ее центру по линии действия наибольшей продольной силы (сечение В—В на рис. 6). По напряжениям в данной точке и ведется расчет на прочность и подбирается толщина фасонки. Однако из результатов видно, что такое определение значений максимальных напряжений некорректно. Действительные точки бифуркации находятся в крайних зонах примыкания наиболее нагруженных стержней возле сварных швов. Напряжение в данных точках может превышать предполагаемый центральный максимум в 2 и более раз, приближаясь к расчетному сопротивлению стали. Если принимать во внимание случай узла 2, то и вовсе происходит значительное превышение в зонах сварных швов напряжений над средним максимумом, что свидетельствует о переходе в пластическую зону работы и недопустимо для конструкций первой группы.

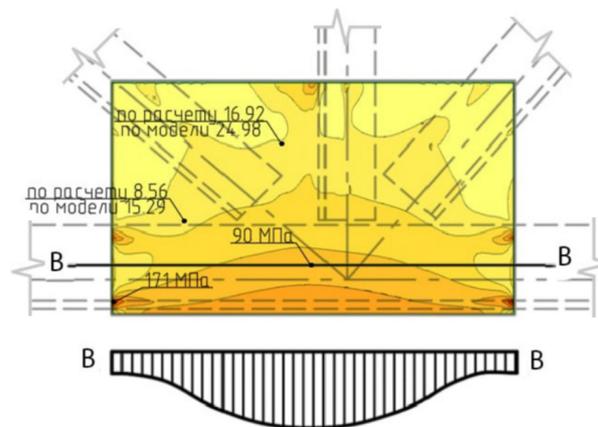


Рис. 6. Сопоставление значений напряжений в пластине, полученных по различным методикам расчета, с напряжениями 3D-модели

Другим традиционным методом проверки прочности фасонки является расчет на выкалывание, представленный А. Г. Тахтамышевым [29]. Данная проверка предполагает определение напряжений в предполагаемых плоскостях скола вблизи раскоса (рис. 7). Согласно расчету для узла 1:

значение продольной силы  $N = 77,00$  кН;

значения напряжений по плоскостям скола по рис. 7:  $\tau_1 = 16,92$  МПа,  $\tau_2 = 8,56$  МПа.

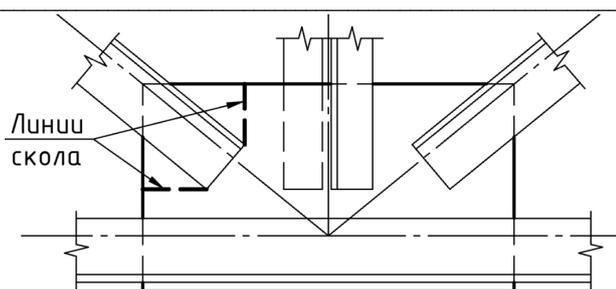


Рис. 7. Плоскости (линии) скола узла 1

Сопоставление значений напряжений, полученных аналитическим расчетом, с соответствующими значениями полей напряжений, определенных по результатам расчета объемной численной модели (см. рис. 6), дает расхождение в 2 раза. Из полученных результатов можно сделать вывод, что данная методика расчета толщины фасонки не обладает достаточной точностью, а принимать полученные значения за расчетные некорректно. Сравнение всех полученных значений напряжений представлено на диаграмме (рис. 8).



Рис. 8. Сравнение значений напряжений, полученных различными методами

Из сравнения видно, что максимальные значения напряжений возникают в зоне крайних участков сварных швов, поэтому при подборе фасонки рационально рассматривать именно данные участки как опасные. Следовательно можно заключить: использование широких фасонки для сопряжения ферм из уголков действительно неэффективно ввиду значительного расхода материала, притом что большая часть пластины работает с запасом в 30...50 %, а в критических зонах наиболее ответственных узлов напряжения превышают предел текучести.

Однако упомянутая неэффективность относится к наиболее распространенным, традиционным конструкциям решетки и размерам фасонки. При расчете значительная часть стержней решетки ферм (центральные раскосы и

стойки) принимаются конструктивно из условия гибкости. По несущей способности рассчитываются опорный и ближайший к нему раскосы (рис. 9). Указанная особенность назначать конструктивно относится и к назначению размеров фасонки для сопряжения данных стержней с поясом — размеры назначаются, исходя из конструктивных, а не расчетных требований.

Узлы нагружены неравномерно, а толщины соединительных пластин (фасонок) типизируют по наиболее нагруженным узлам и принимают единой толщины на всю ферму. Как следствие, применение фасонки с принятыми параметрами оправданно только в нескольких узлах, в остальных же получается существенный запас прочности. Поэтому фасонки в стержневых системах, конструируемых по существующим методам устоявшейся практики проектирования, работают неэффективно.

Решением данной проблемы может стать переход от традиционной конструкции решетки фермы к шпренгельным фермам с удлиненным раскосом (см. рис. 9, а). Ввиду особенностей работы такой фермы оба пояса фермы начинают работать с близкими по значению напряжениями, а узлы нагружены сильнее и более равномерно. При применении данных типов решетки фасонки работают с большей эффективностью, а их типизация оправдана в большинстве узлов фермы.

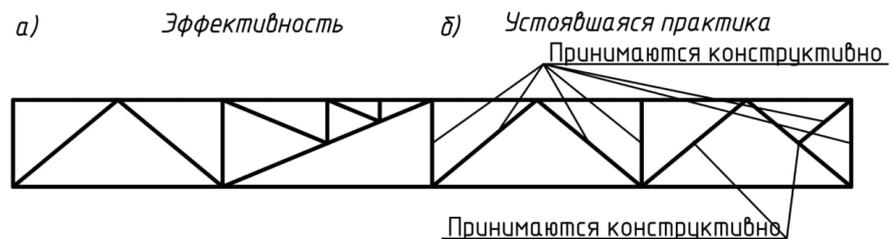


Рис. 9. Типизация стержней фермы: а — эффективное решение, б — устоявшееся в практике решение

Большей эффективности фасонки можно достичь путем усовершенствования их конструкции. При расчете геометрических размеров фасонки опираются на длину сварных швов, рассчитываемую по величине разницы усилий в стержнях смежных панелей. Рассмотрим возможности усовершенствования конструкции на примере фасонки узла 2.

Требуемая длина сварных швов: на верхний пояс — 20 см, на правый раскос — 6 см, на левый раскос — 19 см.

Распределяя требуемые длины швов на перо и обушок в соотношении  $0,3N$  и  $0,7N$  соответственно получаем геометрические размеры для традиционной прямоугольную фасонки (рис. 10, б). Данное решение является наиболее простым и быстрым с точки зрения изготовления, однако влечет за собой перерасход металла в зонах, где фасонка работает с запасом. Удалением этих зон из фасонки, сократив ее размеры до габаритов сварных швов, можно существенно уменьшить ее площадь, чем сократить расход материала как на одну фасонку, так и на целую группу схожих типоразмеров. При удалении свободных участков улучшается компоновка пластин на исходной листовой заготовке (рис. 10, а).

В большинстве рекомендаций приводится положение, согласно которому фасонки следует приближать к прямоугольной форме с приведением как минимум двух сторон к параллельным прямым. Данное требование появилось еще в начале XX в. и было продиктовано сложностью резки металла. Соблюдая данное требование количество резов сводили к минимуму. Однако при современном уровне научно-технического прогресса резка металла сильно упростилась, появилась возможность пересмотреть традиционную конструкцию фасонки в пользу эффективной, уменьшенной конструкции.

Для рассматриваемого узла 2 площадь прямоугольной фасонки составляет  $0,172 \text{ м}^2$ , усовершенствованной —  $0,126 \text{ м}^2$ , таким образом экономия составляет 27 % по материалу одной фасонки. Если же учитывать преимущества от эффективной раскладки, то с  $1 \text{ м}^2$  листа можно получить 6 фасонки, вместо 4 прямоугольных, а полезная площадь использования листа увеличится на 10 % (рис. 10, в, з).

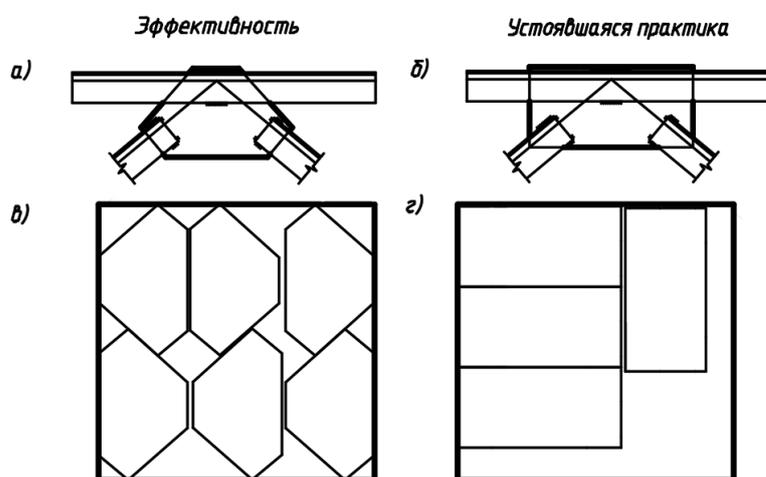


Рис. 10. Совершенствование конструкции фасонки и варианты раскроя листа: а — оптимизированная фасонка; б — устоявшаяся конструкция фасонки; в — преимущество раскладки оптимизированной фасонки; з — раскладка прямоугольной фасонки. *Примечание:* длина сварных швов показана требуемая по расчету

### Выводы и рекомендации

Необходимость проведения исследований с целью совершенствования методов расчета и конструирования фасонки обусловлена тем, что многие стальные строительные конструкции (фермы, колонны, балки, связи, кронштейны) невозможно рационально конструировать без пластин сопряжения. Фасонки обеспечивают требуемый уровень надежности соединений стержней в узлах и обеспечивают собираемость за счет возможности устройства черновых отверстий под болтовое соединение для предварительной сборки. Опираясь на указанные объективные особенности конструирования некорректно отказываться от использования соединительных пластин-фасонки в практике строительства стальных стержневых систем.

По результатам анализа выполненных исследований на пространственных моделях узлов стальных ферм, работающих в составе пространственных блоков ферм, сформулированы нижеприведенные выводы.

1. Расчетно-аналитическим путем обоснована конструктивная и экономическая неэффективность традиционных тяжелых ферм из уголков с широкими прямоугольными фасонками.

2. Большая часть площади соединительных пластин сопряжения стержней в узлах ферм работает с запасом прочности в 30...50 % по причине того, что наиболее нагруженными являются зоны локальных концентраторов (начальные краевые зоны сварных швов), в которых напряжения достигают расчетного сопротивления стали. С удалением от зон сварных швов происходит резкое затухание напряжений.

3. В результате сравнения теоретических напряжений, полученных по существующим упрощенным аналитическим методикам, и действительных максимумов напряжений в пластине, полученных при численном моделировании объемных схем, обоснована необходимость пересмотра методики расчета размеров и подбора толщин фасонки.

4. Проверка фасонки на выкалывание, приведенная в устаревшей справочной литературе, дала значения напряжений на 32 % меньшие, чем полученные при численном моделировании, что свидетельствует о недопустимости применения данной методики в современной практике.

5. Для достижения большей эффективности использования ферм из уголков следует пересмотреть конструкцию решетки фермы. Установлено, что традиционная треугольная решетка регулярной структуры не обеспечивает эффективную работу узлов и вызывает недогруженность стержней в центральной зоне фермы. Предлагаемые типы многосложных шпренгельных решеток с удлиненным центральным раскосом приводит к более эффективному перераспределению усилий как в фасонках, так и в раскосах ферм.

6. При учете современных способов металлообработки (плазменная резка) появляется возможность отказаться от нерациональных прямоугольных фасонки и применять фасонки оптимизированной конструкции.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Стрелецкий Н. С.* Курс металлических конструкций. Ч. 1. М. : Стройиздат, 1940. 844 с.
2. *Мальгина И. Ф., Тубин С. М.* Серия 196. Инструкция по проектированию стальных конструкций одноэтажных промышленных зданий. Фермы. М. : Государственное издательство строительной литературы, 1950. 76 с.
3. *Трофимов В. И.* Рекомендации по проектированию структурных конструкций. М. : Стройиздат, 1984. 303 с.
4. *Васильченко В. Т., Рутман А. Н., Лукьяненко Е. П.* Справочник конструктора металлических конструкций. Киев : Будивэльник, 1990. 312 с.
5. *Абаринов А. А.* Составление детализированных чертежей металлических конструкций. М. : Стройиздат, 1977. 60 с.
6. Серия 1.400—10/76. Типовые узлы стальных конструкций одноэтажных производственных зданий. Выпуск 1. Узлы покрытий с применением ферм из уголков. Чертежи КМ. Госстрой СССР, 1976. 67 с.
7. *Родионов И. К., Сафронов Е. Г.* Усиление под нагрузкой деформированных сжатых стержней стальных стропильных ферм // Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 11. № 3(44). С. 26—31. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.04.
8. *Зернов В. В., Зайцев М. Б.* Применение фасонки в соединениях элементов стальных ферм из профильных труб // Моделирование и механика конструкций. 2019. № 9. С. 11.
9. *Белюсова А. А.* Сравнение несущей способности фасоночных узлов ферм из тонкостенных гнутых профилей на болтах и самонарезающих винтах // Научному прогрессу — творчество молодых. 2018. № 4. С. 13—14.

10. Голиков А. В., Федоров А. Н. Применение круглой стали в большепролетных структурных покрытиях // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 1(82). С. 25—46.
11. Горсков И. А., Голиков А. В. Большепролетные покрытия комбинированного типа // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 29—39.
12. Воронкова Г. В., Гурова Е. В., Карасев Г. М. Особенности реконструкции ферм покрытия с изменением расчетной схемы в условиях действующего предприятия // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 48(67). С. 27—37.
13. Новоселов А. А. Анализ работы узлов соединения вертикальных связей стальных каркасов многоэтажных зданий // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. № 2(57). С. 78—84. DOI: 10.52170/1815-9265\_2021\_57\_78.
14. Osata H. Theory of plates and shells. London : LAB Lambert Academic Publishing, 2022. 243 p.
15. AISC Committee. Specification for structural steel buildings (ANSI/AISC 360—16). Chicago: American Institute of Steel Construction, 2016. 177 p.
16. Doroftei I. A., Bujoreanu C. C., Doroftei I. N. An overview on the applications of mechanisms in architecture. P. I: bar structures. Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 444. Iss. 5. 052018. DOI: 10.1088/1757-899X/444/5/052018.
17. Raisszadeha A., Rahaia A., Deylami A. Behaviour of Steel Plate Shear Wall in Multi Span Moment Frame with Various Infill Plate Connection to Column // Civil Engineering Journal. 2018. Vol. 1. Iss. 4. Pp. 26—40.
18. Raisszadeha, A., Deylami, A., Rahaia A. Experimental and Numerical Research on Steel Plate Shear Wall with Infill Plate Connected to Beam Only // Civil Engineering Journal. 2018. Vol. 3. Iss. 4. Pp. 128—139.
19. Verma I., Setia S. Seismic Behaviour of Stiffened Steel Plate Shear Walls // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. Vol. 8. Iss. 8. Pp. 77—90.
20. Experimental Investigation of Steel Plate Shear Walls under Shear-Compression Interaction / Y. Lu, L. Li, D. Wu, B. Zhong, Y. Chen, N. Chouw // Shock and Vibration. 2019. Vol. 12. Article 8202780.
21. Zhou Z., Qian J., Huang W. Numerical Study on Deformation Capacity of Steel Plate Reinforced Concrete Shear Walls // Advances in Civil Engineering. 2019. Vol. 14. Article 9701324.
22. Haddad O., Ramli Sulong N. H., Ibrahim Z. Cyclic performance of stiffened steel plate shear walls with various configurations of stiffeners // Journal of Vibroengineering. 2018. Vol. 20. Iss. 1. Pp. 459—476.
23. Zhang Y., Zhan X. Study on Seismic Behavior of Steel Frame-Steel Shear Wall with Assembled Two-Side Connections // Mathematical Problems in Engineering. 2019. Vol. 17. Article 3024912.
24. Fadhil H., Ibrahim A., Mahmood M. Effect of Corrugation Angle and Direction on the Performance of Corrugated Steel Plate Shear Walls // Civil Engineering Journal. 2018. Vol. 11. Iss. 4. Pp. 107—119.
25. Ebadi P., Farajloomanesh S. Seismic design philosophy of special steel plate shear walls // Magazine of Civil Engineering. 2020. Vol. 95. Iss. 3. Pp. 3—18.
26. Investigation on the Structural Behavior of Shear Walls with Steel Truss Coupling Beams under Seismic Loading / Z. Deng, C. Xu, Q. Hu, J. Zeng, P. Xiang // Advances in Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 2. Pp. 112—128.
27. Golikov A., Garanzha I., Cherkasova K. Stress-strain conditions of steel rod structures nodes // Magazine of Civil Engineering. 2023. Vol. 6. Iss. 122. Pp. 12201.
28. Тихонов С. М., Алехин В. Н., Беляева З. В., Туснин А. Р. Проектирование металлических конструкций. Ч. 1: Металлические конструкции. Материалы и основы проектирования: учебник для вузов. М. : Перо, 2020. 468 с.
29. Тахтмышев А. Г. Примеры расчета стальных конструкций. М. : Стройиздат, 1978. 239 с.

© Голиков А. В., Вольская О. Н., Петин Е. О., 2024

Поступила в редакцию  
в январе 2024 г.

*Ссылка для цитирования:*

Голиков А. В., Вольская О. Н., Петин Е. О. Работа под нагрузкой и пути оптимизации конструктивных решений узловых пластин в шарнирно-стержневых системах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 1(94). С. 6—18. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_1\_6.

*Об авторах:*

**Голиков Александр Владимирович** — канд. техн. наук, доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; alexandr\_golikov@mail.ru

**Вольская Ольга Николаевна** — канд. техн. наук, доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; olgavolska@mail.ru

**Петин Елисей Олегович** — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; elisey.petin@yandex.ru

**Aleksandr V. Golikov, Olga N. Volskaya, Elisey O. Petin**

**Volgograd State Technical University**

**WORK UNDER LOAD AND WAYS TO OPTIMIZE THE DESIGN SOLUTIONS OF NODAL PLATES IN HINGE-ROD SYSTEMS**

In modern construction, trusses from paired angles are increasingly abandoned due to their low economic efficiency. This disadvantage is caused by the use of established in practice but irrational lattice trusses, inefficiency of assigning the parameters of the fascia and lack of recommendations on the directions of improvement of its design. The results of research into the actual nature of the work of the chamfer as part of the truss and considering the actual distribution of stress fields in it will allow to assign the optimum dimensions of the plate and improve its design. In order to solve this engineering problem, the stresses in the chamfers are calculated using the existing calculation methods and compared with the results of numerical calculation of 3D models of nodes as part of spatial models of trusses. This paper also considers the results of research of the improved types of truss lattice from paired angles and the design of chamfers based on the analysis of their actual stress-strain state.

**К e y w o r d s:** hinge-rod system, truss lattice, paired angles, nodal plate, stress-strain state, rational solution, design, node model, calculation methodology.

*For citation:*

Golikov A. V., Volskaya O. N., Petin E. O. [Work under load and ways to optimize the design solutions of nodal plates in hinge-rod systems]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 1, pp. 6—18. DOI: 10.35211/18154360\_2024\_1\_6.

*About authors:*

**Aleksandr V. Golikov** — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; alexandr\_golikov@mail.ru

**Olga N. Volskaya** — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; olgavolska@mail.ru

**Elisey O. Petin** — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; elisey.petin@yandex.ru