

2. *Мартинец Д. В.* Индустриальные конструкции из дерева и пластмасс для сельскохозяйственного строительства. М., Стройиздат, 1973.

3. *Орлович Р. Б.* Учет действительной работы деревянных конструкций при их проектировании. Материалы научно-технического совещания «Проектирование, производство и применение КДК в строительстве». Гомель, 1977.

4. *Уголев Б. Н.* Деформативность древесины и напряжения при сушке. М., Лесная промышленность, 1971.

5. *Цветков А. К.* Исследования влияния температурно-влажностных воздействий на изменение внутренних напряжений в клееных деревянных конструкциях. Автореферат кандидатской диссертации. М., МИСИ, 1978.

УДК 624.014:728.96

Н. Н. МУРАШКО, Ю. В. СОБОЛЕВ, А. В. МУХИН,
Л. Г. ГОЛОВКО

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕСФАСОНОЧНЫХ УЗЛОВ ФЕРМ ИЗ ЗАМКНУТЫХ ГНУТОСВАРНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Легкие несущие металлические конструкции покрытий из гнутосварных профилей (ГСП) находят все более широкое применение в практике сельскохозяйственного строительства. Гнутосварные профили изготавливают методом холодного профилирования из тонкого стального листа на автоматической поточной линии. Эффективность применения ферм из ГСП определяется как относительной их легкостью и технологичностью, так и агрессивным характером среды производственных сельскохозяйственных зданий, а также санитарно-гигиеническими требованиями к помещениям.

Решение узлов ферм без фасонок, т. е. с непосредственным примыканием элементов, позволяет снизить строительный коэффициент, уменьшить количество деталей и объем сварки, а также повысить коррозионную стойкость. При этом облегчаются процессы очистки и окраски металлоконструкций, отпадают технологические трудности, связанные с необходимостью фигурной резки концов замкнутых элементов решетки конструкций (в отличие от элементов из круглых труб).

Таким образом, стальные фермы из ГСП являются экономически выгодными конструкциями для сельскохозяйственных зданий.

При проектировании ферм из ГСП с непосредственным примыканием элементов решетки необходимо учитывать влияние геометрических и механических факторов на несущую способность бесфасоночного узла, которая может определять несущую способность всей трубчатой конструкции. При этом следует учитывать влияние условий закрепления сжатых элементов в узле на их устойчивость, а также податливость стенок поясного элемента узла на жесткость конструкции в целом.

Отмеченные особенности делают необходимым исследование работы узла с непосредственным примыканием гнутосварных профилей друг к другу.

На основе экспериментальных исследований построены эмпирические и упрощенные методики расчета, которые связывают несущую способность узла с материалом, геометрией и его конструкцией.

Теоретическое решение задачи с использованием кинематического метода предельного равновесия разработано Б. С. Цетлиным [3]. Однако действительный закон распределения контактной нагрузки методика не учитывает и, следовательно, многие вопросы расчета узлов остаются недоработанными.

Поэтому возникает проблема исследования напряженно-деформированного состояния бесфасоночных узлов трубчатых конструкций из ГСП и построения на этой основе методики расчета, учитывающей действительный закон распределения контактной нагрузки, возможные виды предельных состояний и развитие упруго-пластических деформаций. Исследование проводилось в рамках научно-технической проблемы, координируемой ОЭИ ЦНИИСК. Узлы испытывались в составе стропильных ферм (шифр 5992-КМ), образующих беспрогонный блок покрытия размером 24×12 м.

Испытания блока покрытия проводились на Молодечненском ЗЛМК. Блок устанавливали на четыре стальные опоры, связанные жесткими металлическими балками. В состав блока входили две подстропильные фермы серии ПФ-12-40 пролетом 12 м и четыре стропильные фермы ФС-24-1,2. Стропильные фермы устанавливали с шагом 4 м. По верхним поясам стропильных ферм укладывали 12-метровые стальные листы профилированного настила Н60-780-1,0, которые прикрепляли к верхним поясам самонарезными болтами в каждой волне. Листы профилированного настила соединяли между собой комбинированными заклепками через 300 мм. Стропильные фермы связывали между собой вертикальными связями в виде бесфасоночных ферм из ГСП. Перед сборкой производили контрольные обмеры всех элементов конструкций блока с их маркировкой. Отклонения геометрических размеров замкнутых гнутосварных профилей были в пределах допускаемых заводской технологией. Так, например, проектируемое сечение верхнего пояса стропильных ферм из стали 09Г2С должно быть $180 \times 140 \times 4$ мм. По контрольным замерам его средние размеры составили $181,6 \times 142 \times 4,08$ мм. Сечение нижних поясов из стали 09Г2С по проекту должно составлять 140×4 мм, в действительности оказалось равным $141 \times 4,11$ мм. Сечение всех раскосов стропильных ферм, предусмотренное проектом, — 120×3 мм, фактически было $121,5 \times 2,92$ мм.

Нагружение блока производилось по методике, разработанной ЦНИИСК. Испытательные нагрузки несколько отличались от проектных. Эти отличия состояли в том, что равномерно распределенная по площади настила нагрузка заменялась тремя эквива-

лентными линейно распределенными нагрузками между фермами; нагрузка на фермы, дополняющая распределенную нагрузку от настила по длине пролета, прикладывалась в виде узловых сосредоточенных сил. Нагружение блока осуществлялось в несколько ступеней. На первой ступени производилось нагружение профилированного настила линейно распределенной нагрузкой. Непосредственно на настил укладывали пакеты металлических полос. Пакеты по длине стыковались впритык. Длина полосы нагрузки от пакетов составляла 24 м. В одном пролете настила пакеты укладывали по трем линиям. Расстояние между линиями в этом пролете составляло 1 м, между линиями соседних (смежных) пролетов — 2 м.

На первой ступени нагрузка на средние стропильные фермы была принята близкой к нормативной и составила 9,4 кН/м. Расчетная нагрузка $q=12$ кН/м. Нагрузка на крайние фермы на этой же ступени была равна 3,15 кН/м. Так как наклейка тензорезисторов и установка измерительных приборов производились после сборки блока и укладки профилированного настила, то перемещения и деформации определялись без учета собственной массы ферм и настила. Далее производили разгрузку блока, снимали показания приборов, и блок повторно нагружался до величины нагрузки 1-й ступени. При этой нагрузке были проведены испытания блока на горизонтальные усилия, направленные вдоль и поперек пролета. К подстропильной ферме прикладывалась одна сосредоточенная сила, к стропильной — три сосредоточенные силы. Горизонтальные нагрузки величиной до 50 кН включительно создавались посредством винтовых стяжек и контролировались динамометрами.

На 2-й ступени нагрузка прикладывалась в узлах стропильных ферм, для чего использовались нагрузочные рамы двух типов: $P1$ (6 шт.), $P2$ (2 шт.). Каждая рама нагружала одну крайнюю и одну среднюю смежные фермы, при этом рамы $P1$ опирались на четыре узла, а рамы $P2$ — на два узла ферм. Для большей устойчивости смежные рамы поперек пролета соединялись связями. На рамы укладывался ряд двутавров № 20, а на них — стальные листы. В связи с тем что на первой ступени крайние фермы являлись недогруженными, двутавры имели консольный свес 1,6 м, выступающий за оси крайних ферм. С целью предотвращения смятия профилированного настила рамы в узлах ферм опирались на 3—4 подкладки; этим достигалось рассредоточение нагрузки на 30—40 см в стороны от центра узла. На 2-й ступени нагрузка на средние фермы, приведенная к распределенной по длине, соответствовала расчетной, т. е. 12 кН/м, а на крайние — $0,61 q=7,3$ кН/м. После нагружения блока и снятия отсчетов производилась его разгрузка до 1-й ступени с последующим повторным нагружением. Далее нагружение блока осуществлялось стальными листами, укладываемыми на рамы с помощью листовых захватов. Нагрузка на 3; 4; 5 и 6-й ступенях для средней и крайней ферм составляла соответственно $1,2 q$, $0,99 q$, $1,4 q$, $1,3 q$, $1,5 q$, $1,52 q$, $1,55 q$, $1,62 q$.

Сравнивая величину нагрузки для испытываемых ферм на каждой ступени, можно отметить, что наблюдается последовательное выравнивание в их нагружении с дальнейшей перегрузкой крайних. При испытании блока внутренние усилия в элементах определялись методом тензометрирования. Кроме того, определялись вертикальные и горизонтальные перемещения характерных точек и узлов конструкций. Перемещения измерялись с помощью прогибомеров Аистова с ценой деления 0,01 мм и линейек с ценой деления 1 мм. Отсчеты по линейкам снимались нивелиром.

С целью определения линейных и угловых перемещений узлов фиксировались вертикальные перемещения их центров. Непосредственно для измерения углов поворота использовали консоли длиной 1150 мм, на концах которых устанавливали линейки. В каждом узле устанавливали три консоли. Линейные и угловые перемещения замеряли на половине средней и крайней ферм. По разности перемещений центра узла и конца консоли определялся угол поворота в месте ее прикрепления. Принятая система измерения позволила определить углы поворота с точностью до 0,001 рад.

Напряженно-деформированное состояние узлов стропильных ферм изучалось при помощи тензорезисторов с базой 10 мм. Рассматривались узлы верхнего пояса типа $-П-П-R+P$ и нижнего пояса типа $+П-R+P$. На каждом узле наклеивали от 35 до 100 тензорезисторов, которые располагали в узлах и зонах концентрации напряжений и наиболее характерных точках. Для определения главных деформаций на щеки раскосов и вертикальную стенку верхнего пояса устанавливали розетки тензорезисторов. Схемы узлов с тензорезисторами показаны на рис. 1.

Эпюры осевых и кольцевых напряжений в наиболее характерных сечениях узла верхнего пояса при расчетной нагрузке на ферму приведены на рис. 2 и 3. Анализируя эпюры напряжений и результаты показаний тензорезисторов при различной величине нагрузки (от 0,78 q до 1,6 q), можно отметить, что наиболее нагруженным элементом в верхнем и нижнем узле является сжатый раскос. Наибольшие напряжения зафиксированы в щеке сжатого раскоса в зоне, близкой к пятке. Наибольшие кольцевые напряжения отмечены в горизонтальной пластинке верхнего пояса, в месте примыкания пятки сжатого раскоса. Эти напряжения имеют максимум в зонах, примыкающих к стенкам пояса и к пятке раскоса. Осевые напряжения пластинки пояса составляют 30—60% от кольцевых. Появление локальной пластичности в верхнем узле отмечено в вертикальной стенке сжатого раскоса в зоне, близкой к пятке, вследствие сдвиговых деформаций по линии контакта при нагрузке на ферму выше расчетной.

Крайний узел нижнего пояса является наиболее напряженным. Максимальные напряжения при расчетной нагрузке зафиксированы в носке сжатого раскоса. При нормативной нагрузке осевые напряжения в носке раскоса в зоне, близкой к вертикальной стенке, превышают расчетное сопротивление стали на 15%. Главные

напряжения в вертикальной стенке раскоса близки по абсолютной величине и составляют около $0,75 R$. Абсолютная величина максимального главного напряжения практически не меняется по линии контакта с нижним поясом. При расчетной нагрузке на ферму напряжения в носке растянутого раскоса и боковых стенках превы-

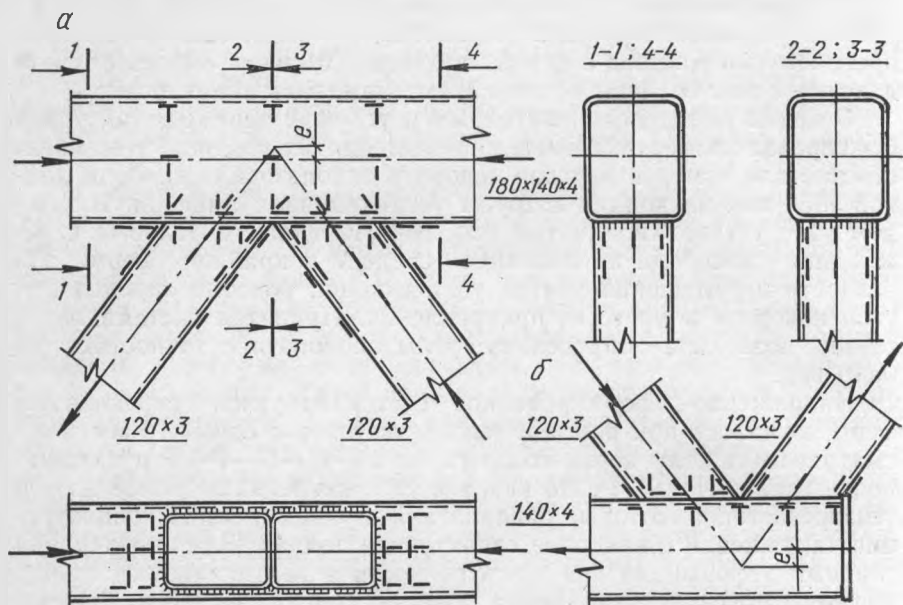


Рис. 1. Схема узлов с тензорезисторами:
а—узел верхнего пояса; б—узел нижнего пояса.

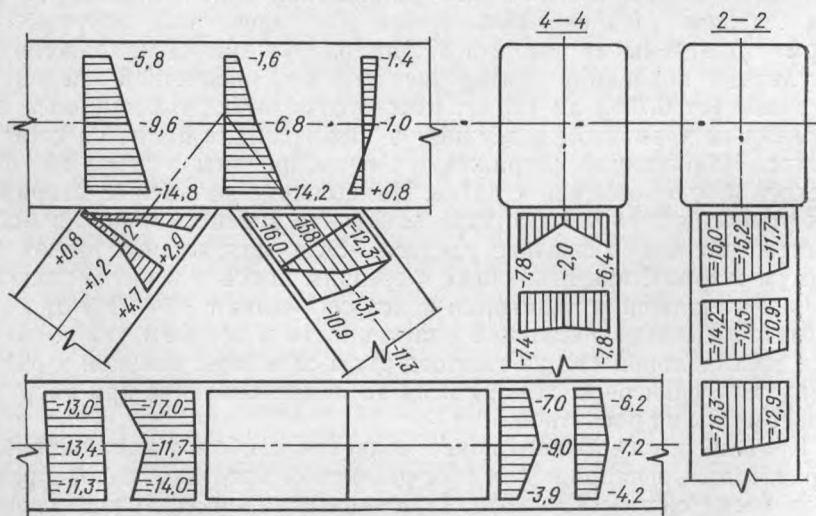


Рис. 2. Эпюры осевых напряжений в характерных сечениях узла а (кН/см^2).

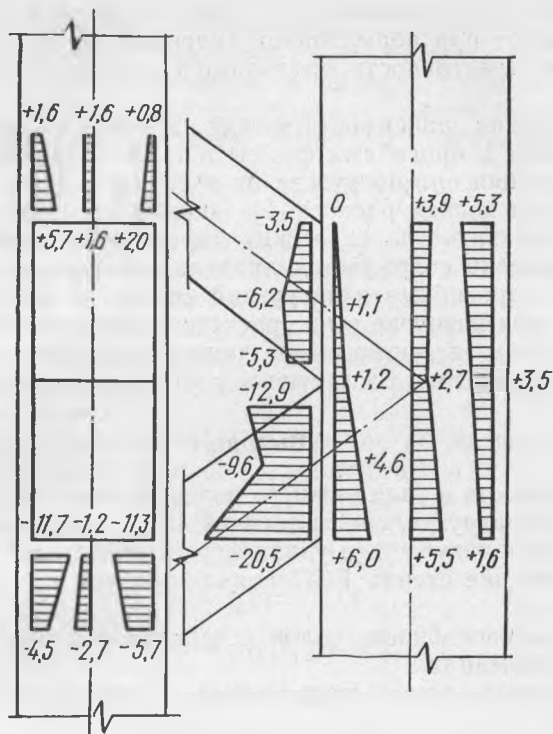


Рис. 3. Эпюры кольцевых и горизонтальных нормальных напряжений в узле верхнего пояса (кН/см^2).

шают расчетное сопротивление на 5—20%. В вертикальной пластинке пояса нижнего узла, в зоне под сжатым и растянутым раскосом, осевые и кольцевые напряжения положительные. Следует отметить, что локальные упруго-пластические деформации в узле

Таблица 1

Прогибы фермы и напряжения в узле б

Нагрузки на ферму, кН/м	0,78q	1,0q	1,2q	1,4q	1,5q	1,6q
Относительный прогиб фермы	1/312	1/263	1/204	1/158	1/144	1/136
Напряжения в носке сжатого раскоса, кН/см^2	-24,2 -17,8	-26,7 -20,9	-36,6 -31,0	— —	— —	— —
Напряжения в носке растянутого раскоса, кН/см^2	+22,4 +20,5	+25,8 +22,2	+32,9 +28,1	— —	— —	— —

нижнего пояса на расстоянии 10—15 мм от линии контакта с раскосом наступают при нормативной нагрузке на ферму. В точке концентрации пластичность проявляется при нагрузке ниже нормативной.

Для выявления зависимости между напряженно-деформированным состоянием и прогибами фермы в табл. 1 приведены результаты исследования при нагрузках от $q^н$ до 1,6 q . Напряжения рассматриваются в носках раскоса. Из данных таблицы видно, что, несмотря на развитие пластических деформаций в узлах нижнего пояса, практически сохраняется линейная зависимость между относительными прогибами и нагрузкой вплоть до 1,6 q . Наконец, отметим, что при нагрузке выше расчетной происходит выравнивание пластических деформаций по контуру растянутого раскоса. Полученные результаты согласуются с данными работ [1, 2, 4].

Выводы

1. Пластичность в узле нижнего пояса фермы наступает весьма рано, т. е. при нагрузке, составляющей 40% от разрушающей.
2. Локальная текучесть в узлах фермы вблизи сварных швов в точках по толщине стенки ГСП появляется при нормативной нагрузке.
3. Несущая способность узлов исчерпывается при малых пластических деформациях.
4. Наибольший уровень напряжений отмечен в носках раскосов нижнего узла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарф Э. Ф. Исследования конструктивной прочности сварных узлов и элементов из гнутых профилей замкнутого сечения. Диссертация. Киев, 1969.
2. Научно-технический отчет. Исследования беспрогонного блока покрытия 12×30 с фермами для изготовления на поточных линиях из гнутосварных профилей при минимальном числе сварочных деталей и типоразмеров. Испытание фрагментов и узлов. ВНИКТИстальконструкция. Щелково, 1974.
3. Рекомендации по проектированию металлоконструкций из гнутосварных замкнутых профилей. М., ЦНИИПСК, 1977.
4. Севрюгин В. В. Экспериментальное исследование моделей фрагментов ферм из гнутосварных профилей. Реферативный сборник. Проектирование металлических конструкций 2(49). М., ЦИНИС, 1974.

УДК 531.787.91:62.474.4:728.9

Н. И. КАЗНАЧЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧКАХ

В невысоких зданиях сельскохозяйственного назначения основную стоимость составляют покрытия. Поэтому целесообразно заменить традиционные стоечно-балочные конструк-