

# ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

---

УДК 624.078.4

**И.И. Зуева, Е.Ю. Николаева**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРНЫХ БЛОКОВ ТИПА «ЦНИИСК» РАЗМЕРАМИ 18×12 М

Рассмотрены структурные конструкции для массового применения в промышленном строительстве, проведен анализ достоинств и недостатков систем. Приведен пример расчета структурного блока типа «ЦНИИСК» размерами 18×12 м для V снегового района, проведено исследование блока при включении стального профилированного настила в работу конструкции.

**Ключевые слова:** пространственные конструкции, структурные блоки, стальной профилированный настил, напряженно-деформированное состояние.

Пространственные строительные конструкции благодаря экономическим, техническим и эстетическим качествам занимают сегодня одно из ведущих мест в мировом строительстве и во многом определяют тектонику, форму, объемно-пространственное решение сооружений.

Пространственные конструкции отличаются от традиционных систем специфическими особенностями работы, позволяющими намного увеличить свободный пролет между опорами. Их применение для покрытий в гражданском, промышленном и сельскохозяйственном строительстве весьма перспективно, так как позволяет получить интересные и художественно-выразительные объемные композиции и архитектурные формы, открывает дополнительные возможности поиска новых архитектурно-планировочных решений.

Под структурными конструкциями понимаются пространственные стержневые металлические конструкции, сходные по своему строению с кристаллическими решетками металла.

Структурные конструкции получают в настоящее время широкое применение во всех странах мира. Некоторые авторы называют структуры многослойными покрытиями, так как структурные плиты состоят из верхнего и нижнего решетчатых поясов и пространственно расположенных раскосов или стоек между ними. В одних случаях конструкции образуются наклонными перекрестными фермами, в других – решетчатыми пирамидами. Конструкции первого вида называются перекрестно-ребристыми, второго – структурными. В настоящее время создано большое количество стержневых схем и конструктивных решений узловых сопряжений, которые применяются для индивидуальных зданий и для массового строительства.

Перспективные границы рационального применения структурных покрытий весьма широки. Однако наибольший эффект получен от их внедрения в строительство одноэтажных промышленных зданий. Здания этого рода являются наиболее массовыми, и технологические свойства структурных покрытий наилучшим образом отвечают требованиям индустриализации массового строительства.

Благодаря положительным качествам структурных систем в период 1972–1975 гг. была проделана большая работа в области проектирования, исследования и создания производственных мощностей по изготовлению легких структурных конструкций.

Для массового изготовления были приняты три структурные конструкции типа «Берлин», «Кисловодск», «ЦНИИСК».

Структурные конструкции типа «Берлин» собираются из трубчатых стержней со сплюснутыми концами, к ним приварены клиновидные детали. Сходящиеся в каждом узле наколенники обжимаются двумя фасонными крышками с бортиком, стягиваемыми болтами и гайками. Покрытие представляет собой пространственную стержневую плиту размерами в плане 18×12 м и 24×12 м, с ячейками 3×3 м, высотой 1,8 м. Опирается плита на колонны осуществляется по верхнему поясу. Практика применения структурных конструкций типа «Берлин» показала, что они обладают существенными недостатками: ограничена область применения, расширение которой практически не представляется возможным (I, II снеговые районы); значитель-

ная трудоемкость изготовления и монтажа, большая стоимость конструкции.

Структурные конструкции типа «Кисловодск» представляют собой пространственную стержневую плиту размерами в плане 30×30 м и 36×36 м для сетки колонн 18×18 м и 24×24 м соответственно, размеры ячеек 3×3 м, высота 2,12 м. Секция опирается на колонны с помощью капителей, выполненных в виде пирамид. Для покрытия характерно наличие консольных участков пролетом 6 м. Стержень структуры состоит из стальных труб, с вваренными в торцы шайбами. В отверстия шайб пропущены стержни высокопрочных болтов с накрученными на них гайками. В процессе сборки стержни соединяются болтами с узловыми элементами «коннекторами». В «коннекторах» имеются отверстия с резьбой. Для обеспечения работоспособности конструкции необходимо плотное касание узловых элементов и гаек во всех узлах структуры.

Однако, как показал опыт применения трубчатых структур, они многодельны и в 2–2,5 раза имеют большую стоимость по сравнению с традиционными решениями. В связи с этим в ЦНИИСК им. Кучеренко была разработана структурная конструкция для перекрытия промышленных зданий, по своей стоимости близкая к традиционным решениям [1]. В отличие от ранее применявшихся довольно сложных узловых сопряжений в этой системе все элементы сопрягаются друг с другом непосредственно по одной полке при помощи болтов нормальной точности. Ввиду относительной простоты изготовления такой конструкции, невысокой стоимости и использования недефицитных прокатных профилей эта конструкция нашла значительное распространение в промышленном строительстве.

Применительно к производственным зданиям пространственные стержневые покрытия типа структур обладают следующими преимуществами:

- возможностью компоновки блоков под любую сетку колонн;
- частой сеткой верхних и нижних узлов, что позволяет осуществить легкую беспрогонную кровлю и организовать подвесной транспорт в любом направлении;
- малой строительной высотой и высокой жесткостью конструкции;

- максимальной унификацией элементов, возможностью их изготовления на поточных линиях и малыми затратами на стадии изготовления.

Несущая способность структурных конструкций обеспечивается при условии высокой культуры производства на всех стадиях: при изготовлении, монтаже и устройстве кровли. Структурные конструкции являются многократно статически неопределимыми системами, поэтому повышенную чувствительность к точности и качеству изготовления и монтажа можно отнести к недостаткам структурных покрытий [2]. Кроме того, в некоторых структурных конструкциях зачастую имеются скрытые дефекты, которые могут привести к отказу в работе стержней структурной плиты. Наличие этих дефектов особенно опасно в растянутых стержнях. Таким образом, дефекты изготовления, отклонения от размеров при сборке и нарушение правил эксплуатации структурных конструкций могут привести к перераспределению усилий, и фактические усилия будут отличаться от расчетных.

В конструкциях из прокатных профилей на болтах типа «ЦНИИСК» покрытие выполняется беспрогонным, стальной профилированный настил укладывается поперек блока на несущие продольные пояса. Верхние продольные пояса выполняются из двутавров с приваренными к ним фасонками для крепления раскосов на болтах. Устойчивость поясов из двутавров по длине панели обеспечивается с помощью настила, прикрепляемого к несущим поясам самонарезающимися болтами. Нижние пояса и раскосы выполнены из одиночных уголков. Продольные верхние и нижние элементы, а также раскосы крепятся к поперечной сварной торцевой ферме пролетом 12 м.

Типовые структурные блоки типа «ЦНИИСК» имеют размеры в плане 18×12 м и 24×12 м, высоту 1,5 м, ортогональную решетку с размерами ячеек 3×3 м. Конструкция весьма удобна в изготовлении, транспортировке и монтаже. Транспортировка производится в пакетах, что обеспечивает высокую загрузку транспорта. Сборка блоков выполняется на нулевой отметке, на полу здания, стенде. Монтаж структурных блоков после укрупнительной сборки должен производиться только с уложенным и полностью закрепленным стальным профилированным настилом. Высокая жесткость каркаса блока, получающаяся естественным путем, позволяет устанавливать в проектное положение блок полной готовности, вплоть до кровли.

Теоретические и экспериментальные исследования в основном проводились на структурных блоках размерами 24×12 м [1]. Поэтому проведем исследование структурного блока размерами 18×12 м, расчетная схема которого показана на рис. 1.

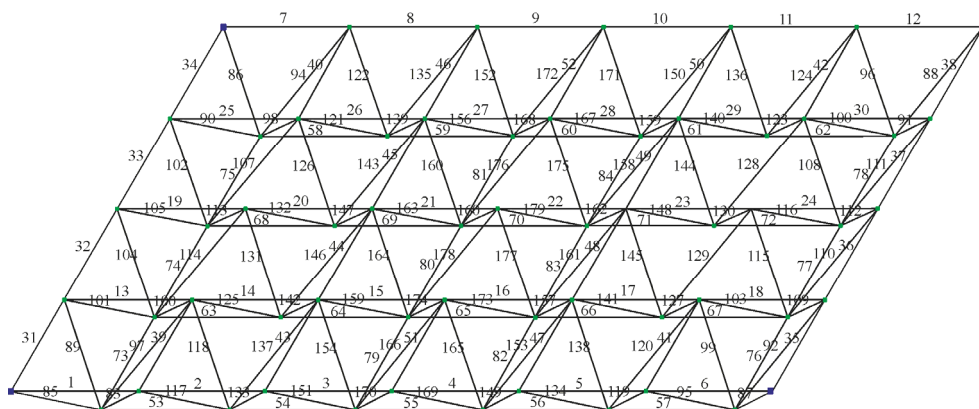


Рис. 1. Расчетная схема структурного блока типа «ЦНИИСК» размерами 18×12 м (1–178 – номера элементов)

Расчет структурного блока выполнен на нагрузки: постоянную, снеговую для V снегового района (по четырем схемам: по всей плоскости блока, одностороннюю вдоль пролета, одностороннюю поперек пролета, на четверти блока), ветровые нагрузки при действии ветра в поперечном и продольном направлениях, а также крановые (от двух мостовых кранов грузоподъемностью 16 т). Горизонтальные нагрузки от колонн и стоек фахверка передаются на верхние пояса структурных блоков. Постоянные и снеговые нагрузки прикладываются к продольным элементам верхнего пояса как равномерно распределенные.

Расчет структурного блока на отмеченные нагрузки выполнен по программе ЛИРА 9.4. На рис. 2 показаны расчетные усилия в элементах блока, количество болтов, рекомендуемые сечения и длины элементов.

При проверке сечений раскосов количество болтов влияет на расчетные длины элементов. Коэффициенты условий работы определяются: с учетом ослабления отверстиями для растянутых элементов и с учетом количества болтов для сжатых стержней. При проверке сечения в панели верхнего пояса 27 несущая способность двутавра № 14 не обеспечена, поэтому сечение продольного верхнего пояса заменено на двутавр № 16.

Исходя из условия унификации сечение средних верхних продольных поясов увеличено с двутавра № 14 на двутавр № 16; остальные элементы соответствуют типовому блоку. При этом прогиб структурного блока уменьшился на 1,6 %, масса двутавров увеличилась на 9,1 %, а масса всего блока на 1,9 %.

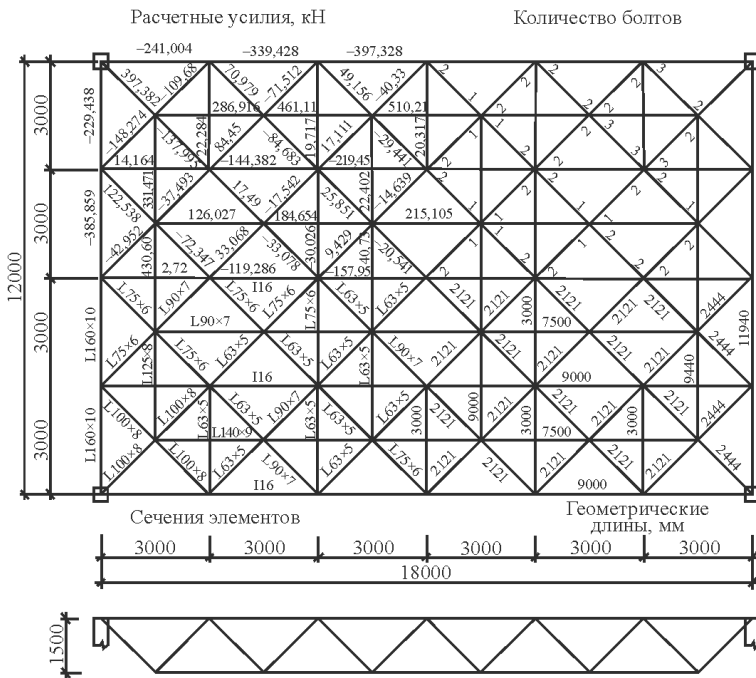


Рис. 2. Результаты расчета структурного блока типа «ЦНИИСК» размерами 18×12 м

В структурных конструкциях типа «ЦНИИСК» применяются стальные профилированные настилы. Исследования, проведенные в ряде стран, показали, что большинство стальных профилированных настилов, применяемых в покрытиях зданий и сооружений, обладают значительной сдвиговой жесткостью. Учет значений этой жесткости в расчетах пространственных покрытий не только приближает расчетную схему к действительной работе конструкции, но может дать определенный экономический эффект для некоторых конструктивных решений. К таким решениям, например, относятся складчатые конструкции, призматические оболочки, трехгранные арки, ребристые купола [3]. Стальные настилы применяются также в составе пространственных конструкций под плоскую кровлю, выполненных в виде решетчатых плит типа структур.

Исследование влияния профилированного настила на работу конструкции проведем на примере уже рассмотренного структурного блока типа «ЦНИИСК» размерами 18×12 м в двух направлениях:

1. Влияние неразрезности стального профилированного настила, который имеет длину 12 м, схема работы настила – неразрезная балка.

2. Влияние сдвиговой жесткости профилированного настила на напряженное состояние структурного блока.

Как уже отмечалось, стальной профилированный настил укладывается поперек блока на несущие продольные пояса, длина настила 12 м, расчетная схема, при шаге продольных элементов верхнего пояса 3 м, является неразрезной четырехпролетной балкой (рис. 3). В связи с этим нагрузки передаются на верхние пояса структуры неравномерно. Приложение нагрузки на верхние пояса блока имеет характер распределения, показанный на рис. 3.

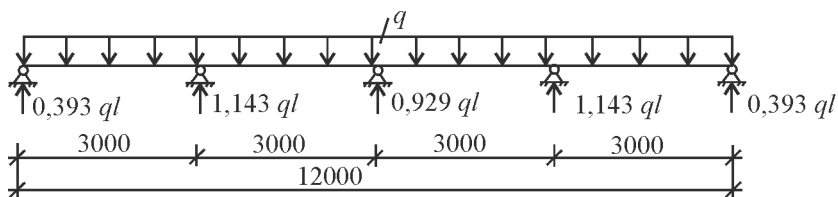


Рис. 3. Расчетная схема стального профилированного настила

Указанная особенность передачи нагрузки с настила на структурный блок приводит к изменению напряженно-деформированного состояния системы. В наиболее нагруженных панелях верхних продольных поясов усилия изменились от 0,8 до 6,16 %, в малонагруженных – от 0,8 до 16,3 %, при этом несущая способность двутавров № 16 обеспечена. Что же касается нижнего продольного пояса, здесь также усилия изменились незначительно – от 1,1 до 2,6 %. В наиболее нагруженном растянутом раскосе – элемент 121 (см. рис. 1) из уголка 63×5 усилие увеличилось на 5,1 %, несущая способность уголка обеспечена. В растяжках нижнего пояса усилия увеличиваются от 14,9 до 48,8 %, это малонагруженные элементы. В сжатых раскосах усилия изменяются от 1,4 до 49,4 %, большая цифра относится к малонагруженным раскосам, несущая способность уголков обеспечена.

Рассмотрим торцевую ферму. В верхнем поясе фермы усилие увеличилось на 2,04 %, в нижнем поясе – на 2,6 %, несущая способность поясов обеспечена. В раскосах усилия изменились от 0,8 до 7,2 %, несущая способность раскосов обеспечена.

Учет неразрезности настила приводит к увеличению прогиба структуры на 1,9 %.

Для учета сдвиговой жесткости профилированного настила в расчете структурного блока отдельные участки настила между узлами верхнего пояса представлены в виде шарнирно связанных перекрестных стержней-связей, эквивалентных соответствующим участкам настила по жесткости в направлении сдвига. На рис. 4 показаны диагонали между узлами верхнего пояса, условная площадь этих стержней определена в соответствии с методикой и экспериментальными данными, приведенными в Рекомендациях ЦНИИПроектстальконструкция<sup>1</sup>.

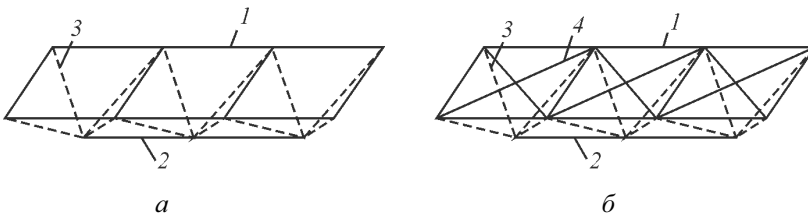


Рис. 4. Стержневые пирамиды структуры с ортогональными сетками поясов:  
*a* – без диагоналей; *б* – с диагоналями: 1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс;  
 3 – раскосы; 4 – диагонали

Сдвиговую жесткость диафрагмы из профилированного настила согласно этим Рекомендациям предлагается определять по формуле

$$C = K_o \cdot \lambda_o \cdot \beta_o \cdot C_o \cdot \frac{a_n}{b_n} \cdot \frac{b_o}{a_o},$$

где  $C_o = 1300$  Н/мм – сдвиговая жесткость эталонного прямоугольного участка настила с размерами  $a_o = 3000$  мм,  $b_o = 3000$  мм для настила Н75-750-0,9;  $\lambda_o$  – коэффициент, учитывающий характер сдвигающей нагрузки: при ветровых нагруз-

<sup>1</sup> Рекомендации по применению стальных профилированных настилов нового сортамента в утепленных покрытиях производственных зданий / ЦНИИПроектстальконструкция им. Мельникова. – М., 1985.



ках  $\lambda_o = 1,0$ ; при крановых нагрузках  $\lambda_o = 0,8$ ;  $\beta_o = 1,2$ , так как схема настила неразрезная и покрытие беспрогонное;  $K_o = 1,0$  – коэффициент, учитывающий тип опорных креплений настила (для самонарезающих винтов и дюбелей);  $a_n = 3000$  мм,  $b_n = 3000$  мм – расчетные размеры сдвигаемой части диафрагмы.

Условная площадь сечения этих стержней определяется из условия равенства сдвиговых жесткостей каждой связевой панели и соответствующего ей участка настила по формуле

$$A_{\text{усл}} = \frac{C \cdot d^3}{2 \cdot E \cdot a_n^2},$$

где  $E$  – модуль упругости стали;  $d = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$  – длина рассматриваемого участка по диагонали.

Проведенные исследования структурного блока с учетом включения профилированного настила в работу системы показали, что произошла незначительная разгрузка крайних продольных элементов верхнего пояса из двутавров: от 1,3 до 2,6 %. Что же касается средних верхних поясов, то здесь усилия увеличились с 0,6 до 16,8 %, большие цифры относятся к крайним малонагруженным панелям, несущая способность двутавров обеспечена. В продольных элементах нижнего пояса происходит перераспределение усилий: в крайнем поясе усилия увеличились от 0,015 до 1,06 %; в среднем произошло уменьшение усилий от 0,05 до 2,4 %. В раскосах также наблюдается перераспределение усилий от 0,13 до 16,3 %, большие цифры относятся к малонагруженным раскосам. Вертикальные прогибы уменьшились на 0,56 %.

Учет сдвиговой жесткости стального профилированного настила, работающего совместно с пространственно-стержневой конструкцией блока, приводит к увеличению общей жесткости структурного покрытия в горизонтальной плоскости от 2,0 до 9,1 %.

Таким образом, наиболее напряженными элементами структурного блока являются средняя панель верхнего продольного пояса из двутавра № 16 (элемент 27), раскос 121 из уголка 63×5, элементы торцевой фермы и центральная панель среднего продольного нижнего пояса из уголка 90×7 (элемент 69) (см. рис. 1).

**Выводы:**

1. Стальной профилированный настил в структурных конструкциях типа «ЦНИИСК» с верхними поясами из прокатных двутавров обеспечивает устойчивость поясов из плоскости. Крепление листов настила к верхним поясам и между собой является ответственным местом в конструкции: от качества и надежности соединения на протяжении всего периода эксплуатации зависит несущая способность структурного покрытия.

2. Включение стального профилированного настила в работу структурного блока типа «ЦНИИСК» размерами 18×12 м приближает расчетные схемы к действительной работе структуры.

3. Учет сдвиговой жесткости и неразрезности настила приводит к перераспределению усилий в элементах структурного блока, особенно в раскосах и поперечных элементах нижнего и верхнего поясов. В связи с этим при подборе сечений поперечных элементов верхнего пояса и малонагруженных раскосов должна быть учтена сдвиговая жесткость настила. При расчете структурных блоков необходимо учитывать схему раскладки настила и, как следствие, расчетную схему передачи нагрузки с настила на структурный блок.

4. Несущая способность структурных конструкций обеспечивается при условии высокой культуры производства на всех стадиях: при изготовлении, монтаже и устройстве кровли. Структурные конструкции являются многократно статически неопределимыми системами, поэтому чувствительны к точности и качеству изготовления и монтажа.

5. Как показали проведенные исследования, типовые структурные блоки типа «ЦНИИСК» размерами 18×12 м могут быть применены для V снегового района (г. Пермь и Пермский край) при условии выполнения всех продольных элементов верхнего пояса из двутавра № 16.

### **Библиографический список**

1. Зуева И.И. Структурные конструкции из прокатных профилей на болтах нормальной точности // Теоретические и экспериментальные исследования по строительным конструкциям: тр. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М., 1976. – С. 104–111.

2. Зуева И.И., Зуев В.В. Влияние податливости болтового соединения на напряженно-деформированное состояние системы // Вестник Перм. гос. техн. ун-та. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1. – С. 40–46.

3. Айрумян Э.Л. Учет жесткости профилированного стального настила в пространственной работе конструкций // Промышленное строительство. – 1979. – № 12. – С. 15–16.

### References

1. Zueva I.I. Strukturnye konstrukcii iz prokatnykh profilej na boltakh normalnoj tochnosti [Structural design of rolled profiles bolt-on the normal accuracy]. *Teoreticheskie i eksperimentalnye issledovaniya po stroitelnykh konstrukcijam. Trudy CNIISK im. V.A. Kucherenko*. Moscow, 1976, pp. 104–111.

2. Zueva I.I., Zuev V.V. Vlijanie podatlivosti boltovogo soedinenija na naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie sistemy [Influence of flexibility of the bolt connection to the stress-strain state of the system]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura*, 2010, no. 1, pp. 40–46.

3. Ajrumjan Je.L. Uchet zhestkosti profilirovannogo stal'nogo nastila v prostranstvennoj rabote konstrukcij [Account of the rigidity of profiled steel flooring in the spatial work structures]. *Promyshlennoe stroitelstvo*, 1979, no. 12, pp. 15–16.

Получено 14.05.2013

**I. Zueva, E. Nikolaeva**

## **INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF STRUCTURAL UNITS OF THE TYPE «CNIISK» SIZE 18×12 m**

The structural design for mass application in industrial construction, the analysis of strengths and weaknesses of the systems. The example of calculation of the structural unit of the type «CNIISK» size 18×12 m for V of the snow area, a study conducted block with the inclusion of steel profiled flooring in the work of the structure.

**Keywords:** spatial design, structural units, steel profiled flooring, stress-strain state.

**Зуева Ирина Ивановна** (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные конструкции», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: skstf@pstu.ru.)

**Николаева Екатерина Юрьевна** (Пермь, Россия) – студентка кафедры «Строительные конструкции», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: skstf@pstu.ru).

**Zueva Irina Ivanovna** (Perm, Russia) – Candidate of Technics, Associate Professor, Department of Building units, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., e-mail: skstf@pstu.ru).

**Nikolaeva Ekaterina Yuryevna** (Perm, Russia) – student, Department of Building units, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., e-mail: skstf@pstu.ru).