

УДК 624.078.4

**И.И. Зуева, С.Л. Иванова**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТИПА «ЦНИИСК»**

Рассмотрены конструктивные особенности структурных конструкций типа «ЦНИИСК», проведен анализ достоинств и недостатков структурных конструкций как пространственных систем. Приведены примеры расчета структурного блока размерами 24×12 м, результаты подбора сечений элементов и проверки прогибов с учетом конструктивных особенностей данных систем. Даны рекомендации о возможности применения структурных конструкций типа «ЦНИИСК» в условиях Пермского края.

**Ключевые слова:** пространственные конструкции, структурные блоки, болты нормальной точности, сечения элементов, прогибы.

Структурные покрытия получили значительное распространение в мировой строительной практике. Основные особенности монтажа таких конструкций – заводское изготовление, легкость транспортировки отдельных конструктивных элементов и поточные методы монтажа.

Опыт строительства пространственных конструкций в нашей стране показывает, что их применение обеспечивает снижение расхода материалов и даже, учитывая повышенную трудоемкость возведения, обеспечивает снижение общей стоимости.

В пространственных конструкциях наряду с оболочками, висячими и пневматическими системами все большее и большее значение приобретают регулярные структурные системы. Рациональное расположение структурных элементов в пространстве обеспечивает оптимальную работу конструкции. Структурные системы позволяют использовать повторяемость простых элементов конструкций, что делает особенно рациональным внедрение их в строительство. Структурные системы – одна из разновидностей пространственных конструкций, отличающаяся большими возможностями образования новых художественно выразительных форм путем многократного повторения однотипных элементов. Повторяемость конструктивных элементов зданий и сооружений создает необходимость и возможность широкого внедрения индустриальных методов.

Большой интерес проявляют архитекторы и инженеры к отечественному и зарубежному опыту проектирования и применения металлических структурных конструкций. Это связано с уникальными возможностями структур создавать различные композиции пространственных каркасов, отвечающие неограниченному кругу задач объемно-планировочных решений. При этом используется ограниченный набор унифицированных стержневых и узловых элементов полной заводской готовности. Исследования показали, что в мировой строительной практике структуры поэлементной сборки занимают особое место, так как характеризуются высокой степенью стандартизации – в них типизированы стержень и узловой элемент. Благодаря этому проектировщик использует систему пространственных конструкций как метод проектирования и строительства.

Во многих странах мира существуют свои системы, которые конструктивно отличаются друг от друга видом узлового соединения, способом соединения элементов, формой сечения стержневых элементов, несущей способностью элементов, определяющих несущую способность системы. В мировой практике строительства для структурных конструкций получили распространение одноболтовые узловые соединения с осевыми болтами, работающими на растяжение или сжатие; сварные узловые соединения, обладающие высокой несущей и формообразующей способностями; фрикционные соединения.

Пространственные стержневые конструкции – структуры применяются для индивидуальных зданий, в массовом строительстве. Одним из видов структурных конструкций для массового применения является структурная плита типа «ЦНИИСК».

Структурные конструкции типа «ЦНИИСК» – это структурная стержневая плита, собираемая из прокатных профилей. Верхние продольные пояса выполняются из двутавров, нижние – из одиночных уголков, наклонные раскосы – из одиночных или парных уголков. В отличие от ранее применявшихся довольно сложных узловых сопряжений в этой системе раскосы крепятся к поясам непосредственно по одной полке при помощи болтов нормальной точности. Ввиду относительной простоты изготовления, невысокой стоимости и использования недефицитных прокатных элементов эта конструкция получила широкое применение в строительстве.

Типовые структурные блоки имеют размеры в плане 18×12 м и 24×12 м, высоту 1,5 м. Пример структурного блока размерами 24×12 м показан на рис. 1.

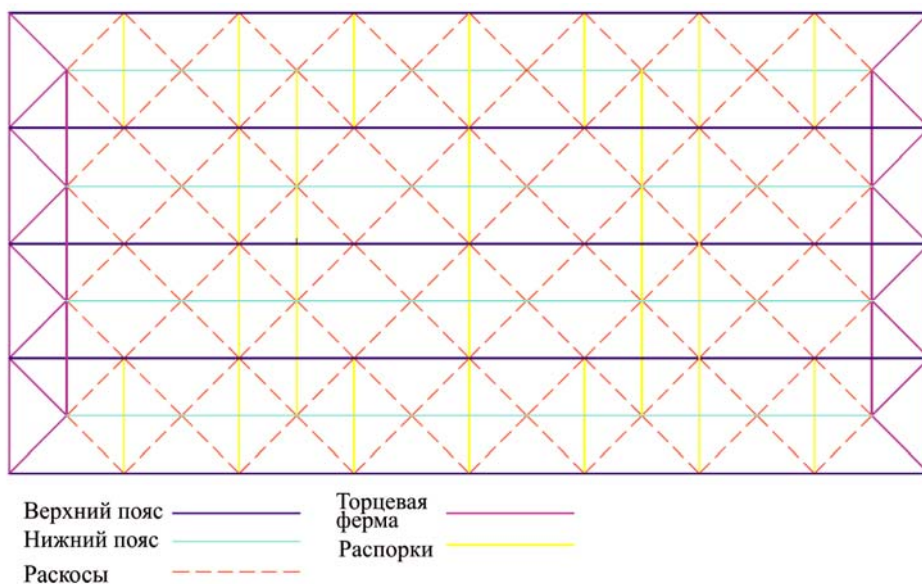


Рис. 1. Структурный блок типа «ЦНИИСК» размерами 24×12 м

Структурные конструкции представляют собой многократно статически неопределимые системы. Расчет таких конструкций выполняется с применением программных комплексов. Предварительно могут быть заданы сечения элементов по типовым сериям с учетом действующей нагрузки и снегового района. В отличие от других систем, например «Кисловодск», в структурах типа «ЦНИИСК» на верхние пояса из двутавров опирается стальной профилированный настил, в этом случае прогоны отсутствуют и настил, кроме того, обеспечивает устойчивость верхнего пояса из плоскости.

Расчет структурных конструкций выполняется в следующей последовательности:

- сбор нагрузок;
- определение расчетных усилий от действующих нагрузок;
- определение необходимого количества болтов нормальной точности для крепления пространственно расположенных раскосов к поясам (количество болтов влияет на расчетные длины раскосов);

– подбор сечений элементов или проверка предварительно заданных сечений;

– проверка жесткости структуры с учетом подобранных сечений.

В структурном блоке типа «ЦНИИСК» верхний пояс рассматривается как внецентренно сжатый элемент, остальные элементы являются растянутыми или сжатыми.

Рассмотрим более подробно расчет структурного блока размерами 24×12 м (рис. 2) для г. Перми (V снеговой район) и особенности подбора сечений его элементов.

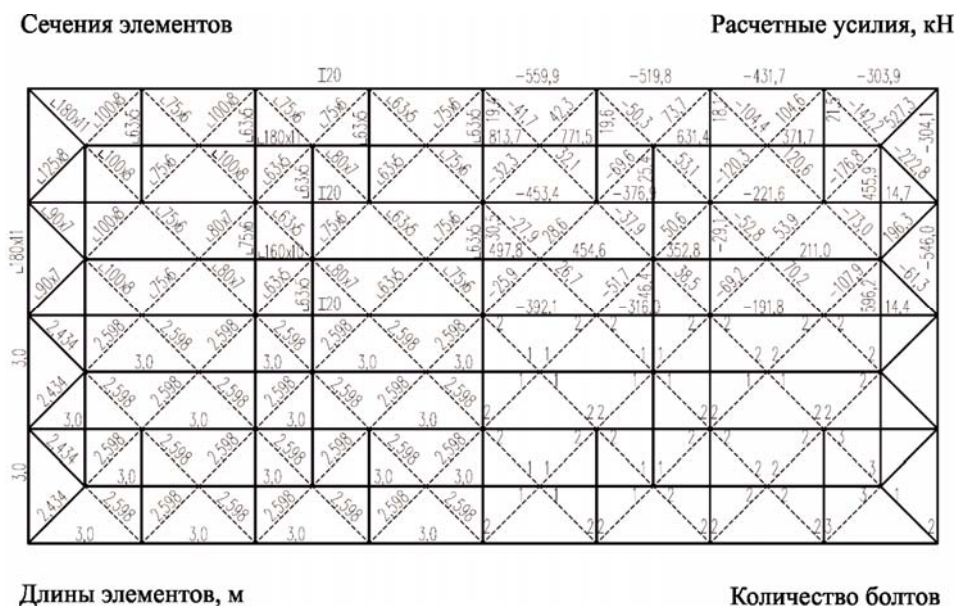


Рис. 2. Пример расчета структурного блока типа «ЦНИИСК» размерами 24×12 м

Структурный блок рассчитывается на постоянную нагрузку, на снеговую нагрузку (по четырем схемам: по всей плоскости блока, одностороннюю вдоль пролета, одностороннюю поперек пролета, на четверти блока), на ветровые нагрузки при действии ветра в поперечном и продольном направлениях. 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. Во всех случаях в расчетной схеме принимаются колонны – защемленными внизу и шарнирно опертыми вверху, фахверковые стойки – шарнирно опертыми вверху и внизу.

Расчет структурного блока на отмеченные нагрузки выполнен по программе ЛИРА 9.6. На рис. 2 приведены расчетные усилия в элементах блока, количество болтов, подобранные сечения и длины элементов. Как показали исследования, влияние ветровых нагрузок на структурный блок незначительное, усилия изменяются не более чем на 1 %.

Болты нормальной точности работают в данной системе на срез и смятие. При подборе сечений раскосов, как уже отмечалось, количество болтов влияет на расчетные длины этих элементов. Верхний пояс из двутавров при определении расчетных длин рассматривается неразрезным. Гибкости сжатых элементов не должны превышать предельных значений для структурных конструкций. Коэффициенты условий работы при проверке сечений элементов структуры определяются: для растянутых элементов с учетом ослабления отверстиями, для сжатых элементов с учетом крепления болтами.

В данной системе верхние и нижние продольные пояса крепятся к наклонной сварной торцевой ферме из одиночных уголков. С целью сокращения монтажных узлов элементы, расположенные по торцам, свариваются в ферму в заводских условиях и доставляются на строительную площадку в виде торцевой фермы пролетом 12 м. Раскосы в ней привариваются к поясам. Такое крепление учитывалось при определении расчетных длин элементов и коэффициентов условий работы.

В структурных конструкциях, элементы которых сочленяются на болтах нормальной точности, следует учитывать податливость болтовых сопряжений, что приводит к увеличению прогиба конструкции [1]. В этом случае общий прогиб, полученный для системы с неподвижными соединениями, рекомендуется увеличивать на 30 %, если разница между диаметром отверстия и болта 2–3 мм, и на 20 %, если разница составляет 1,5 мм. При подборе сечений структурного блока сечения восьми элементов были уменьшены (унификация сечений не нарушена) по сравнению с типовым блоком. Масса этих элементов уменьшилась на 23 %, при этом масса всего блока снизилась на 1 %. Расчет структуры с учетом изменившихся сечений показал, что прогиб увеличился на 1 %, произошло перераспределение усилий, усилия изменились от 0,8 до 1,2 %.

Структурные конструкции типа «ЦНИИСК» доставляют на место строительства в виде отдельных элементов: торцевых ферм, длинно-

размерных элементов верхнего и нижнего поясов и раскосов в паке-тах, что обеспечивает максимальную загрузку транспортных средств.

Укрупнительная сборка производится на универсальных стендах. Сборка структурного блока начинается с установки торцевых ферм, затем крепятся нижние пояса и распорки по нижнему поясу. На следующем этапе верхние пояса соединяются с торцевыми фермами, а к ним и нижним поясам – распорки и раскосы. Монтаж структурных блоков осуществляется из полностью собранного на земле покрытия гусеничным краном. В зону монтажа готовый структурный блок доставляется электрической лебедкой.

В структурных блоках типа «ЦНИИСК» с верхними поясами из прокатных двутавров, устойчивость которых обеспечивается настилом, 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. Блоки структурных конструкций системы «ЦНИИСК» рекомендуется поднимать только с уложенным и закрепленным настилом. Листы профилированного настила соединяют между собой комбинированными заклепками, а к элементам верхнего пояса – прикрепляют самонарезающими болтами.

Несущая способность структурных конструкций обеспечивается при условии высокой культуры производства на всех стадиях: при изготовлении, монтаже и устройстве кровли. Как уже отмечалось, структурные конструкции являются многократно статически неопределимыми системами, поэтому повышенную чувствительность к точности и качеству изготовления и монтажа можно отнести к недостаткам структурных покрытий\*, особенно в структурах типа «Кисловодск». 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 авариям, связанным с обрушением покрытий.

---

\* 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.

Ввиду относительной простоты изготовления, невысокой стоимости и использования недефицитных прокатных профилей структурные конструкции типа «ЦНИИСК» получили широкое применение для массового строительства. Как показали проведенные расчеты, структурные блоки типа «ЦНИИСК» могут быть применены в Пермском крае для V и VI снеговых районов.

**I.I. Zueva, S.L. Ivanova**

## **FEATURES OF DESIGN OF STRUCTURAL DESIGNS OF THE CNIISK TYPE**

Design features of structural designs of the CNIISK type are considered, the analysis of merits and demerits of structural designs as spatial systems is carried out. Selection of sections of elements and check of deflections taking into account design features of data of systems is given an example calculation of the structural block in the sizes 24×12 m. Recommendations about possibility of application of structural designs of the CNIISK type in the conditions of Perm region are made.

**Keywords:** spatial designs, structural blocks, bolts of normal accuracy, sections of elements, deflections.

### **Сведения об авторах**

**Зуева Ирина Ивановна** (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: skstf@pstu.ru).

**Иванова Светлана Леонидовна** (Пермь, Россия) – студентка кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: skstf@pstu.ru).

### **About the authors**

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

**Ivanova Svetlana Leonidovna** (Perm, Russia) – student, Department of Building constructions, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: skstf@pstu.ru).

Получено 07.03.2013