

УДК 624.05/07

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-65-78

*Е.А. МЕЛЁХИН,**Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **МОДУЛЬНЫЕ ТРЁХГРАННЫЕ ФЕРМЫ ПЛОСКИХ ПОКРЫТИЙ**

Рассматриваются модульные трёхгранные фермы плоских покрытий зданий с поперечным членением на отправочные модули. Отмечены особенности конструкций монтажных узлов сопряжения смежных модулей. Применение модульной системы ориентировано на массовое производство. Доставка модулей осуществляется различным грузовым транспортом. Приведены основные положения геометрического расчёта транспортировки модулей и пример использования транспорта, оснащенного крановой установкой.

Представлены вариативные расчётные модели модулей трехгранной фермы, и обобщены результаты их статических расчётов. Учтены различные пространственные положения и значения собственного веса элементов.

По результатам оценки деформативности обоснована установка дополнительных временных и постоянных элементов. Предложены технологические решения по монтажу конструкций покрытий. Рассмотрены технические решения по обеспечению конструктивной жёсткости, сохранности модулей при монтаже, складировании и безопасной транспортировке.

**Ключевые слова:** трёхгранная ферма; компоновка модульной системы; статические и геометрические расчёты; оценка деформативности модулей; монтаж и безопасная транспортировка.

**Для цитирования:** Мелёхин Е.А. Модульные трёхгранные фермы плоских покрытий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 2. С. 65–78.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-65-78

*Е.А. MELEKHIN,**Tomsk State University of Architecture and Building*

## **MODULAR TRIHEDRAL TRUSSES OF FLAT ROOFS**

The paper considers modular trihedral trusses of flat roofs for buildings with transverse division into pre-fabricated elements. The use of modular system is oriented to the mass production. The modular system delivery is carried out by various cargo vehicles. The main geometry calculations are given for the transportation modules and vehicles equipped with a crane.

Variable design models of the trihedral truss modules are presented herein as well as the results of their static analysis. The different spatial positions and element's own weight values.

Based on the results of the deformability assessment, the installation of additional temporary and permanent elements is substantiated. The engineering solutions are suggested for mounting the flat roof structures. Technical solutions are considered to provide the structural rigidity, module safety during the installation, storage and safe transportation.

**Keywords:** trihedral truss; modular system; component arrangement; static and geometry calculations; module deformability; safe installation and transportation.

**For citation:** Melekhin E.A. Modul"nye trekhgrannnye fermy ploskikh pokrytii [Modular trihedral trusses of flat roofs]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo

arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 2. Pp. 65–78.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-65-78

### Введение

При современном уровне развития строительного производства пространственно-стержневые системы на основе использования трёхгранных ферм (ТГФ) имеют большие перспективы развития и применения в покрытиях зданий и сооружений средних и больших пролётов. Область применения конструкций из трёхгранных ферм предусматривает их использование в качестве покрытий выставочных павильонов и демонстрационных залов, крытых катков, плавательных бассейнов, большепролетных общественных и производственных зданий. Это обусловлено стремлением использования их производственно-технологического потенциала для возведения практически в любом географическом районе строительства вне зависимости от уровня развития существующей производственной инфраструктуры.

В настоящее время перспективные разработки, существующие технические решения, патентные разработки конструкций покрытий из трёхгранных ферм позволяют рассматривать их как обособленный подкласс пространственно-стержневых систем [1–4]. Следует признать, что из большого числа существующих разработок обоснованный интерес к внедрению могут представлять только технические решения, которые обладают производственно-технологическим потенциалом. В его основе рассматриваются: высокая степень проектной и конструктивной проработки, простота изготовления и монтажной сборки, высокая степень подготовки к безопасной транспортировке и складированию, а также неприязательные требования к производственной инфраструктуре изготовления.

Целенаправленное совершенствование конструктивных форм ТГФ, методов их расчёта, монтажа, доставки позволит обеспечить эффективную и безопасную эксплуатацию в течение всего срока их службы.

В основу перспективных и существующих разработок трёхгранных ферм из прокатных профилей с поясами составного сечения положены результаты экспериментальных и теоретических исследований [5–9].

Плоские покрытия зданий из трёхгранных ферм с бесфасоночными узлами сопряжения относятся к эффективным пространственно-стержневым системам ввиду высоких технико-экономических показателей. Низкая удельная материалоёмкость, а также при обеспечении определённых условий и низкая трудоёмкость изготовления ТГФ обусловлены рациональным использованием материала конструктивной формы несущей системы на основе применения элементов из индустриально развитых и освоенных прокатных и гнутых профилей.

Транспортная поставка конструкций трёхгранных ферм может осуществляться поэлементной доставкой («россыпью») с последующей укрупнительной монтажной сборкой на строительной площадке. Однако преимущественным и наиболее рациональным решением, позволяющим существенно расширить применение данных конструкций, является поставка отправочных модулей ТГФ полной заводской готовности автотранспортом общего назначения.

Обязательным этапом обоснования экономической эффективности массового применения трёхгранных ферм является анализ результатов проектных решений конструктивной компоновки их транспортировки и складирования.

### Конструкция трёхгранной фермы

Геометрическая схема ТГФ представляет собой многоэлементную пространственно-стержневую систему с продольными поясами и раскосной решёткой.

Трёхгранный контур сечения пространственной системы формируется тремя плоскими фермами, смежные из которых объединены между собой общим поясом и общими узлами сопряжения элементов раскосной решётки (рис. 1).

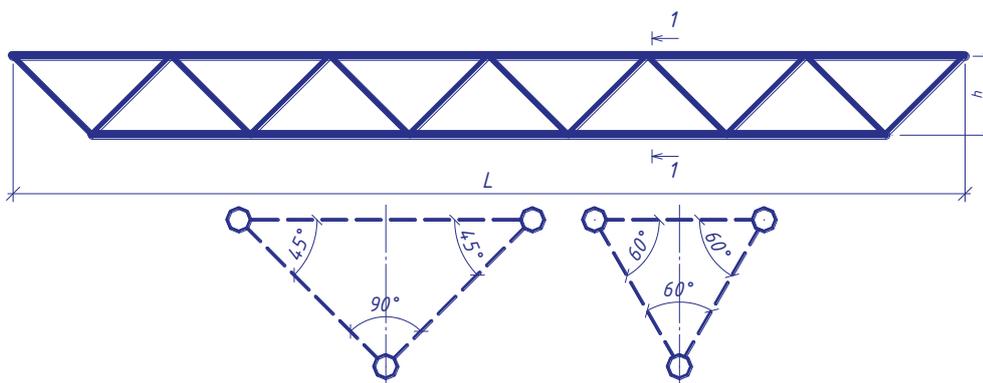


Рис. 1. Трёхгранные фермы с различными углами сопряжения плоских ферм

Многообразие конструктивных форм трёхгранных ферм определяется существующим разнообразием плоских стержневых ферм и их конструктивными комбинациями в сочетании с возможностью компоновки обобщающих узлов сопряжения.

При формировании конструктивной формы трёхгранной фермы учитываются особенности её статической работы, характер распределения внутренних усилий при различных сочетаниях действующих нагрузок. В пролётных конструкциях трёхгранных ферм целесообразно использовать только две наклонные фермы (рис. 2).

Данное компоновочное решение обосновано результатами оценки напряжённо-деформированного состояния ТГФ с различными геометрическими параметрами и сочетания действия нагрузок. Установлено незначительное влияние на несущую способность воздействий в горизонтальном направлении (из плоскости изгиба) по сравнению с влиянием воздействий в вертикальном направлении (в плоскости изгиба). Поэтому для обеспечения конструктивной жёсткости пролётных конструкций ТГФ достаточно установки горизонтальных затяжек в узлах верхнего пояса либо использования в этом качестве поперечных прогонов кровельного покрытия. При беспрогонном решении конструкции кровельного покрытия возможно использовать в качестве затяжек несущий профилированный настил (рис. 3).

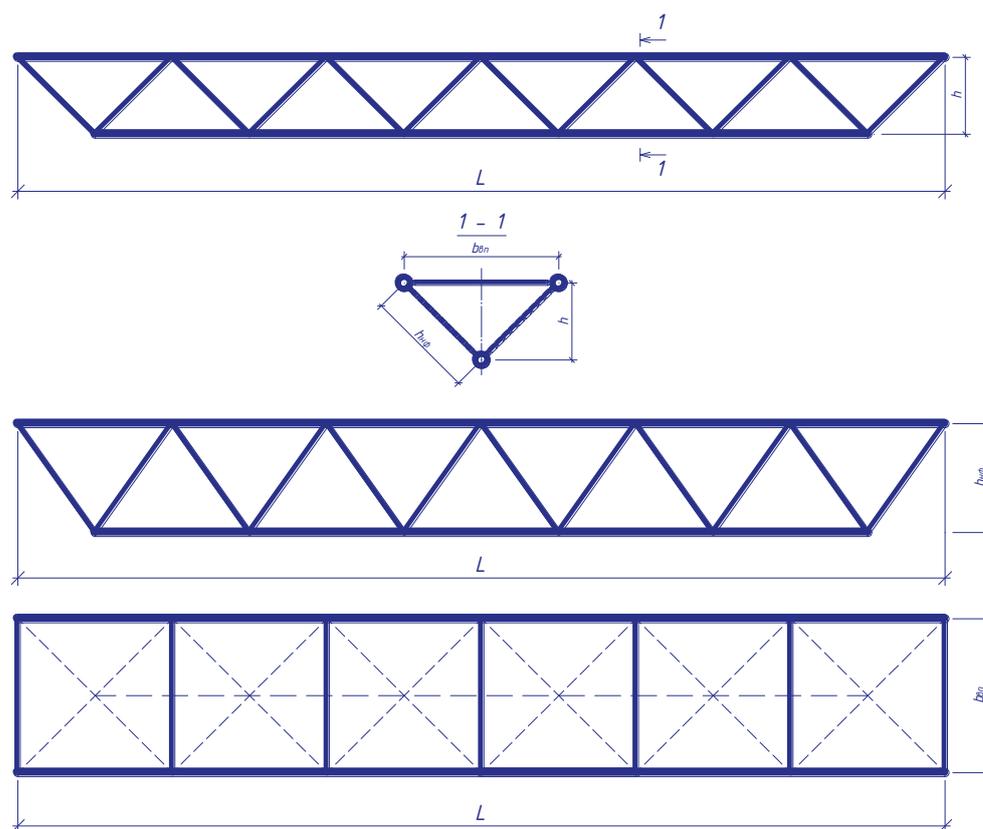


Рис. 2. Геометрическая схема конструкции пролётной трёхгранной фермы

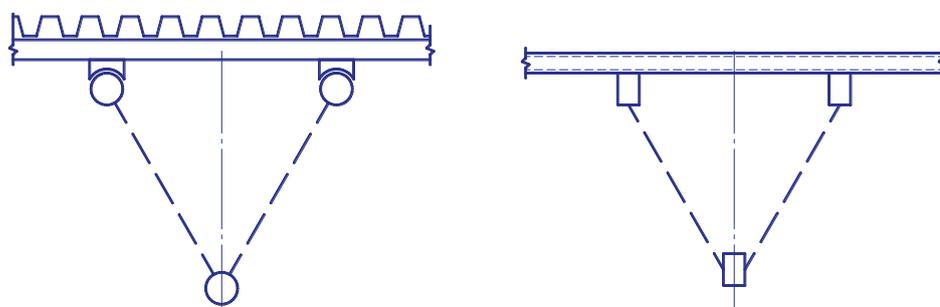


Рис. 3. Сечения трёхгранных ферм из круглых труб с прогонной кровлей и из прямоугольных труб с беспрогонной кровлей

Возможность исключения затяжек из состава конструкции пространственной фермы позволяет использовать пространство между наклонными фермами при транспортировке модулей с укладкой «в ёлочку». Однако это сопровождается снижением конструктивной жёсткости модуля, что необходимо учитывать при транспортировке, складировании и монтаже.

### Компоновка модульной системы трёхгранных ферм

Модульная система образуется путем поперечного членения конструкции трёхгранной фермы на отправочные марки, отличающиеся высокой типизацией и унификацией. Модулем представляется фрагмент трёхгранной фермы конструкции покрытия, увязанный с габаритами грузовой площадки транспорта перевозки и обладающий достаточной жёсткостью для его транспортировки и складирования (рис. 4). Поперечное членение конструкции пространственной трёхгранной фермы осуществляется в узлах верхних поясов и панели нижнего пояса из условия образования минимального количества монтажных стыковочных узлов. В этом случае целесообразно выделение панели нижнего пояса в качестве доборного элемента (рис. 5).

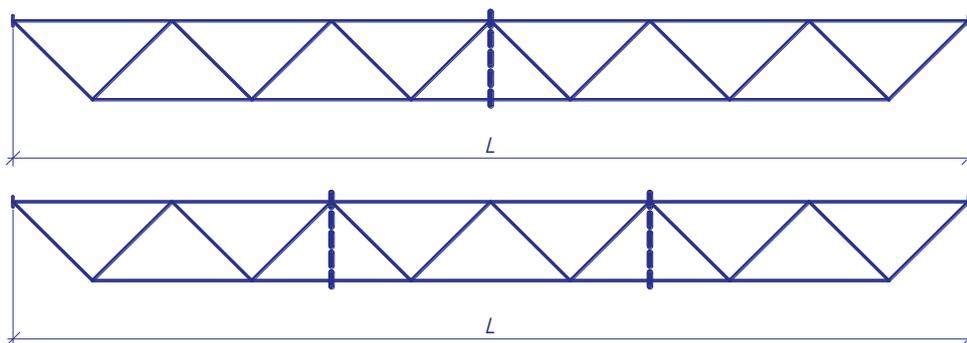


Рис. 4. Варианты поперечного членения трёхгранной фермы по длине

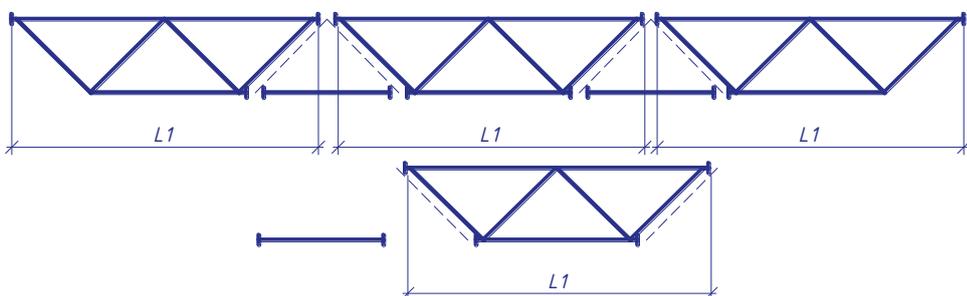


Рис. 5. Формирование модульной системы трёхгранной фермы

Следует отметить, что наличие доборных элементов нижнего пояса при компоновке конструктивных систем позволяет не только обеспечить устройство строительного подъёма для плоских покрытий, но и реализовать возможность формирования иных конструктивных форм покрытий – двускатных, многоскатных сегментированных или арочных.

### Особенности монтажных бесфасоночных узлов трёхгранных ферм

Конструктивное решение сопряжения смежных модулей осуществляется посредством устройства фланцевых соединений на высокопрочных болтах, предусмотренных в конструкции бесфасоночных узлов сопряжения (рис. 6).

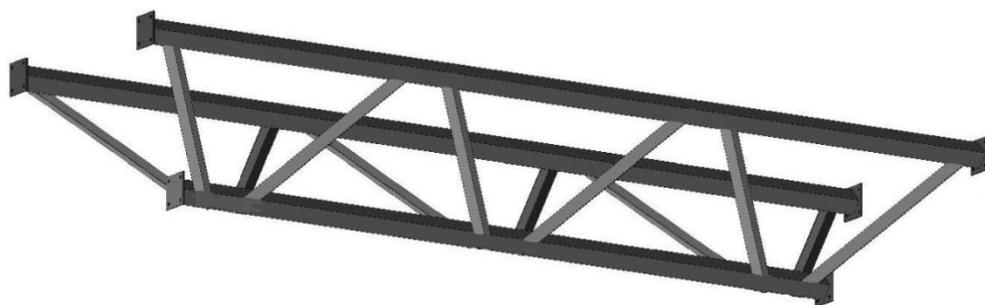


Рис. 6. Модуль трёхгранной фермы пролётной конструкции

Компоновка таких узлов имеет свои конструктивные особенности, обусловленные размещением пластин фланцев в торцевых частях стержней поясов и сварных швов их крепления. Также следует учитывать наличие возможных ограничений, обусловленных размещением раскосных элементов и сварных швов их крепления на полках поясных стержней, необходимости удобного размещения и монтажной постановки высокопрочных болтов фланцев [8].

При беспрогонном кровельном покрытии из профилированного настила, укладываемого непосредственно по верхним поясам, целесообразно использовать конструктивные решения узлов с расположением фланцев в уровне граней стержней верхних поясов либо необходимо проверять геометрическим расчётом компоновку расположения стыковых фланцев модулей при раскладке профилированного настила для обеспечения расположения пластин фланца в высоте полости гофра профнастила.

Введение пластин фланцев в конструкцию бесфасоночных узлов сопровождается необходимостью изменения геометрических размеров как в конструкции самих монтажных стыковых узлов модулей, так и в конструкции стержневой системы в целом. Подобные геометрические преобразования на этапе конструирования в основном приводят к необходимости компоновки нецентрированных узлов [8, 9].

#### **Транспортная подготовка и доставка**

Доставка автотранспортом поддерживает возможность широкой географии применения покрытий из трёхгранных ферм в сочетании с высоким качеством заводского изготовления модулей, оставляя на строительной площадке только укрупнительную сборку. Транспортировка модулей трёхгранных ферм может осуществляться различными видами транспорта при обеспечении основных показателей транспортабельности груза [10].

Основным показателем эффективности использования автотранспорта является себестоимость перевозки, которая уменьшается по мере увеличения степени загрузки, определяемая в виде соотношения массы одной конструкции и их одновременно перевозимого количества и общей грузоподъёмности транспорта. При этом правила дорожного движения ограничивают крупногабаритный груз, выступающий за габариты транспортного средства спереди или сзади более чем на 1 м или сбоку более чем на 0,4 м от внешнего края га-

баритного огня<sup>6</sup>. Перевозка крупногабаритного груза связана с увеличением организационных издержек и повышением расходов на транспортировку специализированной техникой. Поэтому целесообразно совершенствовать и развивать конструкции трёхгранных ферм в виде их модульных систем с транспортной подготовкой для доставки грузовым транспортом общего назначения.

Конструктивная форма трёхгранных ферм позволяет производить компоновку транспортировки и складирования модулей друг на друга со взаимным пространственным размещением во внутренних полостях смежных конструкций, или, иначе, «в ёлочку» (рис. 7).

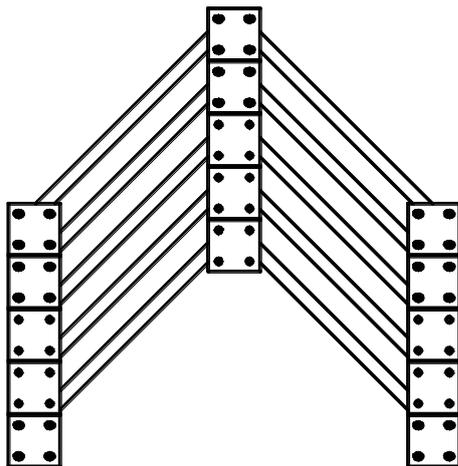


Рис. 7. Компоновка транспортировки и складирования модулей «в ёлочку»

Так, для повышения автономности доставки можно использовать грузовой транспорт с крановой установкой, позволяя не привлекать грузоподъёмные механизмы склада и строительной площадки к погрузке и разгрузке.

Например, бортовой грузовик марки КамАЗ-65117-62 с манипулятором может использоваться в качестве основного автотранспорта доставки и укрупнительного монтажа (рис. 8).

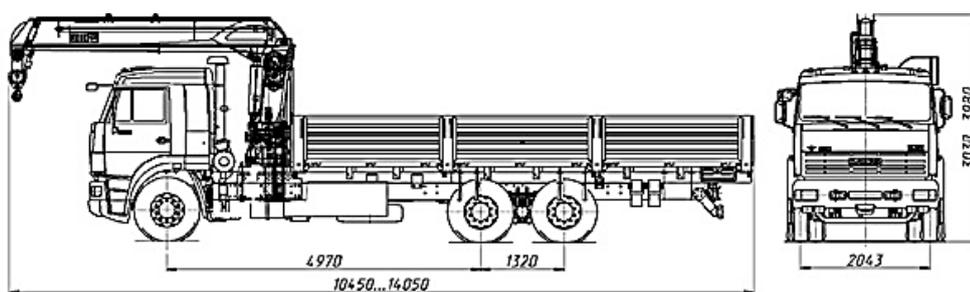


Рис. 8. Геометрические размеры автотранспорта доставки и сборки

<sup>6</sup> Правила дорожного движения РФ, действующие с 08 апреля 2021 г., п. 23.4.

Габариты его грузовой платформы, включая допуски по свесам при транспортировке, подходят для перевозки большинства модулей конструкций трёхгранных ферм высотой до 1,5 м с прямым углом сопряжения наклонных ферм (пролёт 24 м), высотой до 2,7 м с углом сопряжения наклонных ферм  $60^\circ$  (пролёт 36 м).

При складе в «ёлочку» необходимо обеспечить целостность конструктивных элементов модуля и их защитного лакокрасочного покрытия. Для этого предлагается каждый модуль оснащать временными торцевыми затяжками из брусков древесины с креплением на болтах. Тем самым решаются задачи по повышению конструктивной жёсткости модуля при транспортировке и монтаже с сохранением проектных габаритов, а также по формированию опорных элементов при складе модулей в «ёлочку» (рис. 9).



Рис. 9. Устройство торцевых затяжек модуля трёхгранной фермы (положение модуля при доставке и складировании)

Так размер высоты деревянного бруска затяжки должен быть подобран из условия обеспечения зазора между смежными (по высоте) модулями, способствуя тем самым сохранению механической целостности элементов и их защитного лакокрасочного покрытия.

Соответственно высота торцевой затяжки должна быть не меньше высоты пластины фланца стыкового узла модулей и окончательно установлена в соответствии с сортаментом пиломатериала. Допускается использовать спаренные по высоте бруски с временным креплением к фланцам на болтах.

Размер толщины бруска должен быть подобран из условия несущей способности болтовых соединений по критерию смятия древесины на воздействие максимального усилия распора при транспортировке и монтаже. Минимальное значение толщины брусков затяжки установлено равным 60 мм.

Размер максимальной длины затяжки устанавливается из условия габарита ширины отправочного модуля.

### **Геометрический расчёт транспортной компоновки модульной системы**

Компоновочный расчёт склада модулей трёхгранной фермы «в ёлочку» сводится к определению возможности их размещения в заданном транспортном объёме в сопоставлении с грузоподъёмностью транспорта. Габариты транспортного объёма являются граничными условиями для геометрической компоновки модулей, суммарный вес – граничным условием грузоподъёмности. Длина и ширина модуля определяются результатом поперечного члене-

ния трёхгранной фермы по панелям поясов с учётом особенностей расположения поясов наклонных ферм в поперечной плоскости, размерами стыковочных узлов. Количество модулей, укладываемых «в ёлочку» для перевозки, ограничивается предельной высотой и грузоподъёмностью транспорта.

Условия геометрического расчёта размещения модулей складом «в ёлочку» выражаются следующим образом:

$$L_M \leq L_{гп};$$

$$B_M = b_0 + c_{y,B} \leq B_{гп};$$

$$H_M = h_0 + c_{y,H} \leq H_{гп};$$

$$N_M \leq (H_{гп} - h_0 - c_{y,H}) / (c_{y,H}) + 1,$$

где  $L_M, B_M, H_M$  – габариты модуля: длина, ширина, высота;  $L_{гп}, B_{гп}, H_{гп}$  – максимальные габариты грузовой площадки с учётом разрешённых допускаемых транспортных свесов: длина, ширина, высота;  $c_{y,B}, c_{y,H}$  – габариты стыковых узлов в обозначенных ортогональных плоскостях ширины ( $B$ ) и высоты ( $H$ ) модуля; при использовании временных затяжек учитываются их геометрические характеристики;  $b_0, h_0$  – осевое расстояние между поясами модуля по ширине и высоте;  $N_M$  – целое число количества модулей.

Расчёт транспортного груза модулей трёхгранной фермы «в ёлочку» сводится к сопоставлению с грузоподъёмностью транспорта:

$$N_M \cdot G_M \leq G_{гп},$$

где  $G_M$  – масса модуля;  $N_M$  – количество модулей;  $G_{гп}$  – грузоподъёмность транспортной площадки (транспорта).

Таким образом, компоновка модульной системы трёхгранных ферм увязывается с габаритами площадки транспорта общего назначения в сопоставлении с его грузоподъёмностью.

### Статические расчёты модуля трёхгранной фермы

Целью статических расчётов ставился анализ деформативности разработанной конструкции модуля трёхгранной фермы комбинационного состава стержневой системы при его складировании, доставке, перемещении подъёмом и кантовании.

Полученные результаты численных исследований являются основой для последующего решения технологических задач монтажной сборки и обоснованием необходимости установки временных затяжек обратного применения, выполненных из брусков древесины.

В расчётных схемах вариативных пространственно-стержневых моделей учитывалось воздействие от собственного веса модуля проектной конструкции трёхгранной фермы в различных пространственных положениях.

Соответственно в основе вариативности рассматривалась различная компоновка обоснованного расчетом состава стержневых элементов конструкции: пояса из трубчатых элементов различного профиля, из уголковых профилей, раскосы из уголковых профилей различных размеров.

Для сравнительного анализа и решения задач поставленной цели рассматривались две расчётные пространственно-стержневые модели, учитывающие наличие и отсутствие торцевых затяжек модулей (рис. 10).

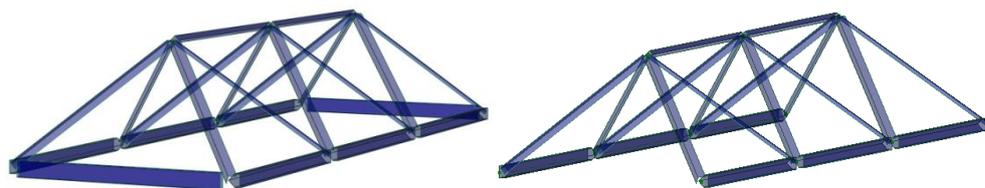


Рис. 10. Расчётные модели конструкции модуля трёхгранной фермы

В основу двух расчётных моделей принималась общая конструкция модуля проектной трёхгранной фермы с габаритами  $9 \times 3 \times 1,5$  м, расположенного в составе пролётной конструкции плоского покрытия отапливаемого здания IV снегового района. Для рационального сокращения числа вариационных моделей при оценке воздействия только от собственного веса достаточно принять конструкцию модуля с наибольшей массой и наибольшими габаритами. При этом необходимо учесть, что значение массовой доли поясных стержней в составе пролётной конструкции модуля является переменной величиной, так для рассматриваемого модуля данное значение составляло около  $0,75 \pm 0,05$ .

При выборе поясных стержней рассматривались трубчатые пятигранные профили, составленные из прокатного швеллера и равнополочного уголка, стержни раскосной решётки – соответственно из прокатных равнополочных уголков. В текущей расчётной задаче варьировался только состав элементов раскосной решетки, который характерен для приопорных модулей пролётных конструкций трёхгранных ферм.

Оценка напряженно-деформированного состояния модуля при перемещении его подъёмом и кантованием в проектное положение проводилась на воздействие расчётной нагрузки от собственного веса с коэффициентом надёжности по нагрузке  $\gamma_m = 1,05$  и с коэффициентом динамичности  $\gamma_d = 1,2$  из условия пропорциональности реактивного воздействия крановой нагрузки.

Граничные условия расчётной стержневой модели учитывали несколько вариантов пространственного положения модуля – от перемещения подъёмом из транспортного положения до кантования с двухузловым и четырехузловым захватом по узлам нижнего и верхних поясов.

### Результаты статического расчёта

Сравнительный анализ результатов статических расчётов двух вариационных моделей с одинаковым составом элементов модулей для их сопоставления показал:

- поперечная конструктивная жёсткость модуля трёхгранной фермы без использования торцевых затяжек определяется только жёсткостью бесфасонных узлов сопряжения элементов раскосной решётки и нижнего пояса, являющегося общим для двух наклонных ферм;
- деформативность модуля зависит от его пространственного положения, собственной массы элементов поясов и раскосной решетки и определяется в основном изменением расстояния между узлами смежных верхних поясов и угла между наклонными фермами;
- при перемещении, кантовании и складировании наиболее деформативными являются модули трёхгранных ферм с нижним поясом, выполненным из одиночного уголка;
- оценка несущей способности бесфасонных узлов сопряжения по нижнему поясу, выполненному из одиночных уголков, должна быть подтверждена дополнительным расчётом на воздействие поперечного изгибающего момента от собственного веса наклонных ферм;
- следовательно, целесообразно производить проверку узлов нижнего пояса, в состав которых входят элементы раскосной решетки с наименьшим суммарным значением моментов инерции стержней в поперечной плоскости;
- установка временных затяжек снижает деформативность модуля практически в 2,5 раза и исключает необходимость дополнительной проверки несущей способности бесфасонных узлов;
- установка дополнительных деталей в узлах нижнего пояса из одиночного уголка в виде пластин с приваркой по перьям позволяет сформировать конструктивную жесткость узла и исключает необходимость дополнительной проверки несущей способности бесфасонных узлов.

#### **Основные выводы и рекомендации**

По результатам комплексных исследований сформулированы основные выводы и рекомендации:

- использование временных затяжек предполагает увеличение трудоёмкости и материалоёмкости на этапе подготовки модулей к их транспортировке, однако упрощает процесс укрупнительной сборки, обеспечивает безопасность транспортировки и сохранность целостности элементов модулей;
- для модулей трёхгранных ферм с прогонной системой кровельного покрытия установка прогонов может осуществляться непосредственно из положения транспортировки с последующим продольным кантованием для монтажной установки в проектное положение;
- устройство временных торцевых затяжек определяет достаточную поперечную конструктивную жёсткость модуля и позволяет гарантированно обеспечить его сохранность и целостность при транспортировке, кантовании и укрупнительном монтаже;
- наличие временных торцевых затяжек исключает необходимость в проведении дополнительных проверок по обеспечению несущей способности узлов на воздействие нагрузок в период монтажа и транспортировки;
- для модулей трёхгранных ферм с беспрогонной системой кровельного покрытия требуется обязательная установка постоянных (стационарных) за-

тяжек, обеспечивающих поперечную конструктивную жёсткость модулей при продольном кантовании и укрупнительном монтаже;

– применение грузоподъёмных траверс, предназначенных для исключения или снижения значения горизонтального усилия, возникающего между узлами захватов строп при подъёме груза, не требуется, вполне достаточно использования приспособленного устройства захватов в местах установки фланцев.

### Заключение

Перспективное развитие конструкций покрытий из трёхгранных ферм, повышение эффективности их применения и расширение районов строительства заключается как в научно-практической основе их изучения, так и в детальной проектной проработке технологических процессов массового производства, возведения и эксплуатации.

Модульные системы трёхгранных ферм позволяют реализовать массовое производство эффективных конструкций покрытий высокого качества заводского изготовления, осуществлять доставку практически любым видом грузового транспорта с возможностью рационального использования его грузоподъёмности в отдаленные районы строительства.

Геометрическим расчётом подтверждена возможность транспортировки и складирования модулей трёхгранных ферм «в ёлочку». Наличие временных торцевых затяжек позволяет обеспечить конструктивную жёсткость модуля. Помимо этого, практическая значимость в использовании торцевых затяжек заключается в обеспечении безопасной транспортировки модулей на значительные расстояния от места заводского производства, удобном кантовании и высокой сохранности конструкции в процессе доставки.

Анализ теоретических исследований пространственно-стержневых конструкций трёхгранных ферм с бесфасонными узлами сопряжения позволил обосновать возможность и целесообразность конструктивной компоновки модульной системы поперечного членения. Также обоснована необходимость обязательной установки постоянных (стационарных) затяжек, обеспечивающих поперечную конструктивную жёсткость модулей при продольном кантовании и укрупнительном монтаже, для конструкций трёхгранных ферм, предусматривающих устройство беспрогонного кровельного покрытия.

В рамках дальнейшего развития исследований модульных систем трёхгранных ферм массового производства целесообразно проведение оценки применения составных стержней переменной жёсткости на основе единого прокатного уголкового профиля для всех элементов раскосной решётки, а также разработка альтернативных конструктивных решений монтажных узлов сопряжения модулей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент № 2188287 РФ, RU МПК<sup>7</sup> Е 04 С 3/04. Покрытие из трехгранных ферм : № 2000117116/03 ; заявл. 27.06.2000 ; опубл. 27.08.2002 / Копытов М.М., Ерохин К.А., Матвеев А.В., Мелёхин Е.А., Бюл. № 24.
2. Патент № 49859, RU U1 МПК<sup>7</sup> Е 04 С 3/04. Покрытие из трехгранных ферм : № 2003120389/22 ; заявл. 03.07.2003 ; опубл. 10.12.2005 / Копытов М.М., Мелёхин Е.А., Матвеев А.В., Бюл. № 3, 4. 10 с.

3. Патент № 2627794. Покрытие из трехгранных ферм : № 2016124898 ; заявл. 21.06.2016 ; опубл. 11.08.2017 / Мелёхин Е.А., Бюл. № 23.
4. Патент № 2661945. Покрытие из трехгранных ферм : заявка № 2017134238 ; заявл. 02.10.2017 ; опубл. 23.07.2018 / Мелёхин Е.А., Фирцева С.В., Бюл. № 21.
5. Ерохин К.А., Мелёхин Е.А., Курьяхин А.Н. Методика экспериментального исследования узлов складчатого покрытия // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2000. № 2. С. 123–126.
6. Ерохин К.А., Мелёхин Е.А. К исследованию узлов бесфасоночной пространственной фермы с пятигранным сечением верхнего пояса // Научно-техническая конференция КрасГАСА. Красноярск, 2000. С. 25–27.
7. Мелёхин Е.А. Пластинчатая расчетная модель узла бесфасоночной пространственной фермы // 2-я Международная научно-техническая конференция «Архитектура и строительство», 2002.
8. Мелёхин Е.А. Работа узлов бесфасоночного складчатого покрытия с поясами пятигранного составного профиля : автореферат диссертации кандидата технических наук : 05.23.01. Томск, 2003. 151 с.
9. Мелёхин Е.А. Исследование влияния расцентровки и податливости на напряженно-деформированное состояние узлов сопряжения пространственно-стержневых конструкций покрытий с поясами пятигранного составного профиля из металлопроката // VIII Украинская научно-техническая конференция «Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее». Киев, Украина, 2004. С. 592–595.
10. *Руководство по перевозке автомобильным транспортом строительных конструкций /* Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт организации, механизации и технической помощи строительству (ЦНИИОМТП) Госстроя СССР. Москва : Стройиздат, 1980. 114 с.

## REFERENCES

1. Kopytov M.M., Erokhin K.A., Matveev A.V., Melekhin E.A. Pokrytie iz trekhgrannykh ferm [Triangular truss flat roofs]. Patent Russ. Fed. N 2188287, 2002. (rus)
2. Kopytov M.M., Melekhin E.A., Matveev A.V. Pokrytie iz trekhgrannykh ferm [Triangular truss flat roofs]. Patent Russ. Fed. N 49859, 2005. 10 p.(rus)
3. Melekhin E.A. Pokrytie iz trekhgrannykh ferm [Triangular truss flat roofs]. Patent Russ. Fed. N 2627794, 2017. (rus)
4. Melekhin E.A., Firtseva S.V. Pokrytie iz trekhgrannykh ferm [Triangular truss flat roofs]. Patent Russ. Fed. N 2661945, 2018. (rus)
5. Erokhin K.A., Melekhin E.A., Kupryakhin A.N. Metodika eksperimental'nogo issledovaniya uzlov skladchatogo pokrytiya [Experimental study of folded-plate construction assemblies]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2000. No. 2. Pp. 123–126. (rus)
6. Erokhin K.A., Melekhin E.A. K issledovaniyu uzlov besfasonochnoi prostranstvennoi fermy s pyatigrannym secheniem verkhnego poyasa [Assemblies of sculptured space truss with pentagonal cross-section of upper chord]. In: Nauchno-tehnicheskaya konferentsiya KrasGASA (*Proc. Sci. Conf.*). Krasnoyarsk, 2000. Pp. 25–27. (rus)
7. Melekhin E.A. Plastinchataya raschetnaya model' uzla besfasonochnoi prostranstvennoi fermy [Plate model of sculptured space truss flat roof]. In: 2-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya "Arkhitektura i stroitel'stvo" (*Proc. 2nd Int. Sci. Conf. 'Architecture and Construction'*), 2002. (rus)
8. Melekhin E.A. Rabota uzlov besfasonochnogo skladchatogo pokrytiya s poyasami pyatigrannogo sostavnogo profilya : avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk [Work of the nodes of the sculptured folded-plate construction with pentagonal composite profile. PhD Abstract]. Tomsk, 2003. 151 p. (rus)
9. Melekhin E.A. Issledovanie vliyaniya rastsentrovki i podatlivosti na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie uzlov sopryazheniya prostranstvenno-sterzhnevyykh konstruktssii pokrytii s poyasami pyatigrannogo sostavnogo profilya iz metalloprokata [Effect of misalignment and stress-strain state of rod structure joints of coatings with five-sided composite profile made of rolled metal products]. In: VIII Ukrainskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya

- “Metallicheskie konstruksii: vzglyad v proshloe i budushchee” (*Proc. 8th Ukr. Sci. Conf. ‘Metal Structures: Insight in Past and Future’*). Kiev, Ukraine, 2004. Pp. 592–595. (rus)
10. Rukovodstvo po perevozke avtomobil'nyim transportom stroitel'nykh konstruksii [Guidelines for transportation of building structures by automobile transport]. Moscow: Stroiizdat, 1980. 114 p. (rus)

**Сведения об авторе**

*Мелёхин Евгений Анатольевич*, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, melean@mail.ru

**Author Details**

*Evgeniy A. Melekhin*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, melean@mail.ru