

Н. П. Вырко, профессор; А. М. Лось, ассистент; И. И. Тумашик, ст. преподаватель

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА РАСКОСОВ НА РАЗМЕРЫ СЕЧЕНИЙ И МАССУ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩЕЙ ФЕРМЫ ПРОЕКТИРУЕМОГО СОРТИМЕНТОВОЗА

The results of theoretical researches of influence a corner of an inclination drag struts to the sizes of sections of elements of carrying farm projected timber carrier are given.

Ферма представляет собой геометрически неизменяемую решетчатую конструкцию, работающую преимущественно на изгиб. Жесткость узлов ферм незначительно влияет на работу стержней, и эти конструкции рассматривают как шарнирно-стержневые системы. При узловой передаче нагрузки стержни фермы подвергаются только осевым воздействиям растягивающих или сжимающих сил, что позволяет целесообразнее использовать материал, чем в сплошной балке, особенно при значительных пролетах.

Теоретически наивыгоднейшим очертанием контура ферм является такое, при котором ее контур соответствует очертанию эпюры моментов. При равномерно распределенной нагрузке и горизонтальном нижнем поясе верхний пояс очерчен по дуге параболы (рис. 1, а), а при одном сосредоточенном грузе в пролете — треугольная ферма (рис. 1, д). В этом случае усилия будут возникать только в поясах; в стержнях решетки усилия теоретически равны нулю.

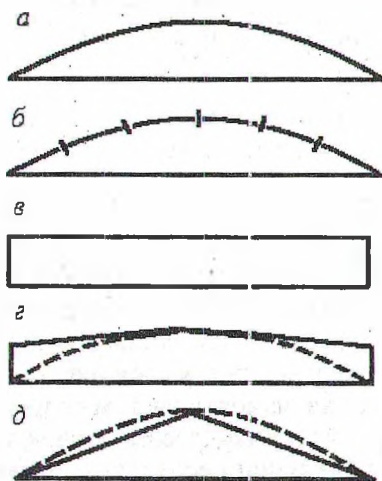


Рис. 1. Очертания пролетных ферм

Изготовление ферм с криволинейным поясом значительно сложнее, чем изготовление ферм с прямолинейными поясами. Кроме того, в элементах криволинейного пояса возникают значительные изгибающие моменты, существенно ухудшающие работу пояса. Ухудшают работу пояса и начальные напряжения, возникающие в криволинейных элементах при их гнутье. Поэтому в инженерных конструкциях металлические фермы с криволинейным поясом применяют сравнительно редко.

Многоугольное очертание одного из поясов фермы с частью узлов, расположенных по дуге параболы (полигональная ферма, рис. 1, б), также обеспечивает малые усилия в стержнях решетки и относительно меньший вес ферм. Такие фермы не требуют изгиба элементов поясов и разметки по кривым. Однако необходимость в каждом узле с переломом пояса устраивать стыки и дополнительный расход материалов на стыковые накладки сильно усложняют изготовление и увеличивают стоимость полигональных ферм. Поэтому в фермах относительно небольших пролетов (до 40 м) полигональные фермы используют редко.

Наиболее часто в легких фермах применяют трапециевидные фермы (рис. 1, з) и фермы с параллельными поясами (рис. 1, в).

Трапециевидное очертание ферм достаточно хорошо соответствует эпюре изгибающих моментов от равномерно распределенной нагрузки — контур фермы как бы описан вокруг эпюры (см. рис. 1, з; пунктир — эпюра изгибающих моментов).

Фермы с параллельными поясами имеют ряд конструктивных преимуществ. Равные длины стержней поясов и решеток, одинаковая схема узлов и минимальное число стыков поясов обеспечивают наибольшую повторяемость деталей и возможность унификации конструктивных схем.

Треугольные фермы (рис. 1, д) вследствие весьма больших усилий в поясах всегда значительно тяжелее ферм остальных типов. Кроме того, они имеют ряд конструктивных недостатков. Стержни решетки в средней части фермы получаются чрезмерно длинными, и их сечение подбирают по предельной гибкости, что ведет к перерасходу металла. Треугольное очертание плохо соответствует очертанию эпюры моментов — контур на всем протяжении вписан в эту эпюру (см. рис. 1, д).

Оптимальная высота фермы получается в том случае, если масса поясов равна массе решетки (с фасонками), что достигается при сравнительно большом отношении высоты фермы к ее пролету ($h/l = 1/5$). На практике от такого соотношения отступают, и масса решетки вместе с фасонками часто составляет менее половины массы поясов (0,4–0,3) общей массы фермы.

С учетом указанных выше обстоятельств, из которых важнейшими следует считать обеспече-

ние допускаемого прогиба и выдерживание транспортных габаритов, высоту h легких ферм назначают в довольно широких пределах: $1/5-1/20$ пролета.

Кафедрой транспорта леса разработана конструкция фермы, монтируемой вместо дышла прицепа роспуска лесовозного автопоезда, что позволит при установке на нее дополнительных промежуточных коников транспортировать две пачки сортиментов.

Проектируемая несущая ферма представляет собой пространственную конструкцию, состоящую из двух вертикальных ферм, установленных параллельно и соединенных между собой посредством горизонтальных раскосов с треугольной решеткой.

Каждая вертикальная ферма состоит из горизонтальных параллельных поясов 1 (рис. 2). Решетка ферм выполнена по раскосной системе, которая включает вертикальные стойки 2 и раскосы 3. Для сварного соединения раскосов и стоек к поясам используют фасонки 4. Поперечные связи 5 использованы для соединения ферм в пространственную конструкцию.

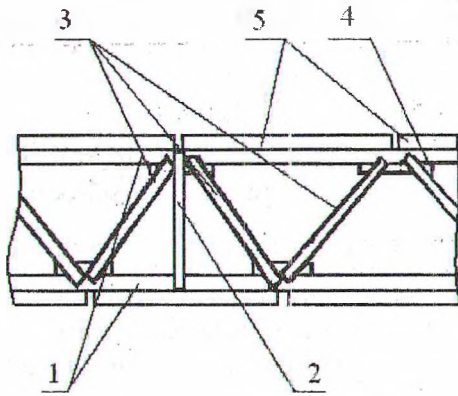


Рис. 2. Элементы несущей фермы

Угол наклона раскосов к поясу ферм оказывает существенное влияние на величину усилий a , следовательно, на сечение и массу раскосов.

Для определения усилий в стержнях несущей фермы и подбора сечений разработаны расчетные схемы с различными углами наклона раскосов. На рис. 3 приведена расчетная схема

с решеткой раскосов, расположенных под углом 45° к поясам или близким к нему.

Для удобства выполнения расчетов пространственная ферма расчленена на две вертикальные системы. При составлении расчетной схемы учтено, что для уменьшения сечения элементов фермы сосредоточенные силы от промежуточных коников Q_b и Q_c (рис. 3) должны действовать на узлы. Расчетная высота фермы $H = 460, 670, 800, 950$ мм при углах наклона раскосов $30, 40, 45$ и 50° соответственно. Длина фермы принята равной длине дышла ($L = 11\,000$ мм), что позволит при демонтаже вертикальных стоек промежуточных коников прицеп-роспуск использовать для вывозки хлыстовой древесины.

Предварительными расчетами установлено, что при транспортировке двух пачек сортиментов длиной по $6,5$ м и расстоянию между стойками коников $2,28$ м на каждую несущую ферму будут действовать вертикальные нагрузки $Q_b = Q_c = 38,5$ кН. При этом $R_A = 40,7$ кН – усилие, воспринимаемое шариковым замком от веса сортиментов, проектируемой рамы и кониковых устройств; $R_B = 28,67$ кН – усилие, воспринимаемое подвеской роспуска от действующего веса сортиментов, рамы и кониковых устройств.

При движении сортиментовоза на его несущую ферму будут действовать продольные растягивающие силы, к которым следует отнести сопротивление качению колес роспуска, сопротивление от уклона пути, инерционная сила сопротивления движению, сопротивление движению при трогании с места, сопротивление от кривой. Расчетами установлено, что продольная сила $F_1 = 31$ кН.

В целях упрощения расчета элементов конструкции принят ряд допущений о свойствах материала и характере деформирования:

- 1 – материал представляет собой однородную сплошную среду;
- 2 – материал до определенного предела нагружения работает упруго, т. е. способен восстанавливать первоначальную форму и размеры после снятия нагрузки;

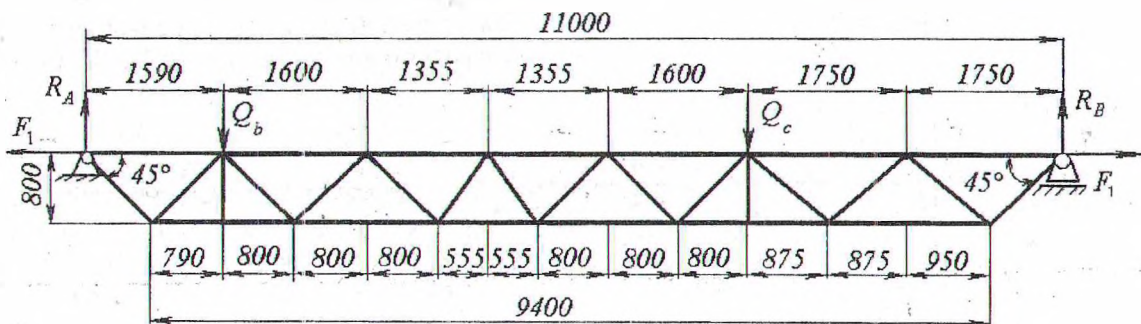


Рис. 3. Расчетная схема фермы

3 – перемещения точек системы элементов, обусловленные деформацией, весьма малы по сравнению с размерами самих элементов. На основе этого допущения вводится принцип начальных размеров, согласно которому при составлении уравнений равновесия (уравнений статики) система элементов рассматривается как недеформируемое тело, имеющее после нагружения те же геометрические размеры, что и до нагружения;

4 – перемещения точек системы элементов в упругой стадии работы материала пропорциональны силам, вызывающим эти перемещения. Системы, подчиняющиеся такой закономерности, являются линейно-деформируемыми.

Расчет усилий в стержнях выполняется методом вырезания узлов фермы в предположении, что в каждом узле от действия внешних сил возникают растягивающие реакции. Для определения этих усилий на языке программирования Turbo Pascal разработана программа расчета, позволяющая пошагово просчитывать различные варианты расчетных схем ферм с раскосной решеткой.

На рис. 4 приведено действительное распределение реакций в стержнях при угле наклона раскосов 45° .

Анализ результатов расчетов показывает, что наиболее нагруженными являются растянутые стержни: 12 (реакция n_{12}), 1 (n_1); сжатые стержни: 18 (n_{18}), 3, (n_3).

Дальнейший расчет сечения для наиболее нагруженного растянутого стержня производится из условия прочности на растяжение

$$A \geq \frac{n_{\max}^p}{[\sigma_p]}, \quad (1)$$

где A – требуемая площадь поперечного сечения стержня, мм^2 ; n_{\max}^p – максимальная растягивающая реакция, действующая на стержень, Н; $[\sigma_p]$ – допускаемое напряжение растяжения, Н/мм^2 .

Допускаемое напряжение растяжения определяется по формуле

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_t}{S}, \quad (2)$$

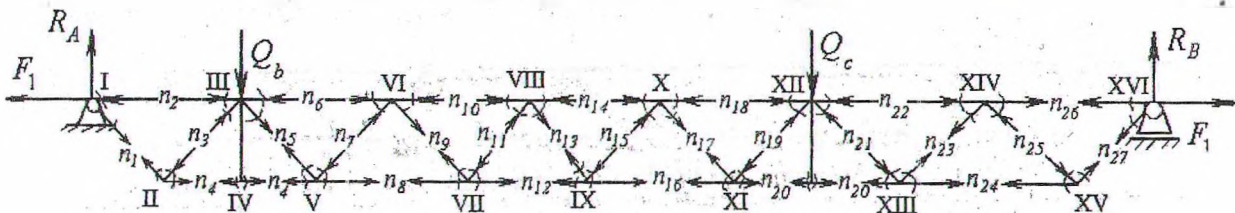


Рис. 4. Распределение реакций в стержнях фермы при угле наклона раскосов 45°

где σ_t – предел текучести для материала изготовления стержня, Н/мм^2 ; S – коэффициент запаса прочности на растяжение. Для данного расчета принята сталь 3 с пределом текучести $\sigma_t = 240 \text{ Н/мм}^2$ [4].

Расчет сечения сжатых стержней производится методом последовательных приближений на устойчивость. Сжатые стержни воспринимают продольную силу, приложенную по своей оси. При этом все поперечное сечение стержня испытывает равномерное сжатие.

При проектировании сжатых стержней необходимо обеспечить устойчивость стержня относительно главных осей его сечения. После определения действующего на стержень расчетного усилия $n_{\max}^{\text{сж}}$ требуемая площадь сечения определяется из условия расчета сжатых стержней на устойчивость

$$A \geq \frac{n_{\max}^{\text{сж}}}{\sigma_y}, \quad (3)$$

где σ_y – допускаемое напряжение сжатия при расчетах на устойчивость, определяемое как

$$\sigma_y = \frac{\sigma_t}{S} \varphi, \quad (4)$$

где φ – коэффициент продольного изгиба, определяемый в зависимости от гибкости стержня

$\lambda = l_{ef}/i$ (в предварительных расчетах значение φ принимается в пределах 0,7–0,85 или $\lambda = 90-60$); i – радиус инерции сечения стержня.

Расчетная (приведенная) длина стержня

$$l_{ef} = \mu l, \quad (5)$$

где l – полная длина стержня; μ – коэффициент, учитывающий способ закрепления концов стержня.

При расчете сжатых стержней фермы принято, что оба конца закреплены шарнирно (рис. 5). При таком закреплении горизонтальное смещение концов невозможно, поворот возможен. В таком случае коэффициент $\mu = 1$ и $l_{ef} = l$.

В таблице приведены результаты расчетов. Для стержней фермы подобраны гнутые стальные равнопрочные уголки по ГОСТ 19771-74.

Сводная таблица результатов расчета

Реакция	Наименование стержня	Состояние	Усилие в стержне, Н	Требуемое сечение профиля уголка, мм	Принятое сечение профиля уголка, мм (см ²)	Масса 1 м длины профиля, кг	Общая длина стержней, м	Общая масса стержней, кг	Полная масса фермы, кг
Раскосная система с углом наклона раскосов к поясам $\alpha = 30^\circ$									
n_3	раскос	сжат	81440	63x63x6	70x70x5 (7,28)	5,38	12,69	68,27	317,27
n_1	раскос	растянут	81440	70x70x5					
n_{18}	верхний пояс	сжат	177391	100x100x8	100x100x8 (15,60)	12,20	20,41	249,00	
n_{12}	нижний пояс	растянут	179955	90x90x8					
Раскосная система с углом наклона раскосов к поясам $\alpha = 40^\circ$									
n_3	раскос	сжат	63349	63x63x5	63x63x5 (6,13)	4,81	14,38	69,17	291,64
n_1	раскос	растянут	63349	56x56x5					
n_{18}	верхний пояс	сжат	112365	90x90x8	90x90x8 (13,9)	10,90	20,41	222,47	
n_{12}	нижний пояс	растянут	123810	75x75x7					
Раскосная система с углом наклона раскосов к поясам $\alpha = 45^\circ$									
n_3	раскос	сжат	57588	63x63x6	63x63x6 (7,28)	5,72	20,69	118,35	288,3
n_1	раскос	растянут	57588	56x56x5					
n_{18}	верхний пояс	сжат	90422	80x80x8	80x80x8 (12,3)	9,65	20,41	169,95	
n_{12}	нижний пояс	растянут	104451	70x70x6					
Раскосная система с углом наклона раскосов к поясам $\alpha = 50^\circ$									
n_3	раскос	сжат	53156	63x63x6	63x63x6 (7,28)	5,72	17,19	98,15	260,61
n_1	раскос	растянут	53156	50x50x5					
n_{18}	верхний пояс	сжат	69964	75x75x7	75x75x7 (10,10)	7,96	20,41	162,46	
n_{12}	нижний пояс	растянут	87184	70x70x5					

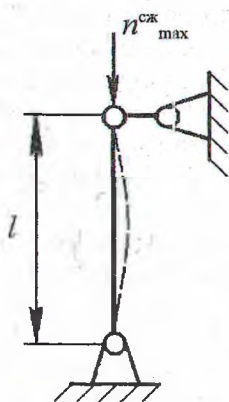


Рис. 5. Расчетная схема закрепления стержня

Проведенные расчеты показывают, что при увеличении угла наклона раскосов к поясам увеличивается суммарная длина раскосов решетки, а усилия в стержнях фермы уменьшаются.

В связи с удлинением стержней решетки при увеличении угла наклона увеличивается и масса решетки. Масса поясов в таком случае, наоборот, снижается, что приводит к уменьшению полной

массы фермы. Увеличение угла наклона более 45° приводит к значительному увеличению высоты фермы, что недопустимо в связи с тем, что для проектируемого сортиментовоза не будет обеспечен минимальный дорожный пролет, который характеризует эксплуатационные качества транспортного средства. С учетом вышесказанного наиболее целесообразно дальнейшие исследования продолжить с учетом динамики транспортного средства для расчетной схемы с углом наклона раскосов 45° .

Литература

1. Мандриков А. П. Примеры расчета металлических конструкций. — М.: Стройиздат, 1991. — 430 с.
2. Михайлов А. М. Основы расчета элементов строительных конструкций в примерах. — М.: Высшая школа, 1980. — 304 с.
3. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. — М.: Наука, 1979. — 560 с.
4. Анурьев В. И. Справочник конструктора машиностроителя: В 3 т. Т. 1. — 5-е изд. перераб. и доп. — М.: Наука, 1980. — 728 с.