

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАСТИНЧАТО-СТЕРЖНЕВЫХ ФЕРМ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

DESIGNING OF PLASTIC AND ROD FARM AND AREA OF THEIR APPLICATION

А.Н. ТОПИЛИН, Н.А. САННИКОВА, А.О. ДАНИЛКИВ
A.N. TOPILIN, N.A. SANNIKOVA, A.O. DANILKIV

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)
(National Research Moscow State University of Civil Engineering)
E-mail: alex-topilin@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы статического расчета и результаты экспериментальных исследований пластинчато-стержневой фермы, рекомендации по конструированию данного вида устройства.

Пластинчато-стержневые фермы представляют собой конструктивные образования, состоящие из пластинчатых элементов, способных работать на изгиб из плоскости конструкций, то есть такие конструкции способны воспринимать кручение.

Пластинчато-стержневые фермы часто применяются для покрытий цехов текстильной промышленности. Их преимущества по сравнению с обыкновенными фермами позволяют использовать эти конструкции под большие нагрузки. Характер образования трещин в пластинчатых элементах показывает, что все элементы пластинчато-стержневой фермы испытывают сложное силовое воздействие.

Узлы сопряжения пластинчатых элементов пластинчато-стержневой фермы должны обладать большей жесткостью из плоскости фермы, чем узлы традиционных ферм, для чего их следует армировать пространственными каркасами.

This article discusses the issues of static calculation and the results of experimental studies of a lamellar-rod truss, recommendations for the design of this type of structure.

Lamellar-rod trusses are constructive formations consisting of lamellar elements capable of bending out of the plane of the structures, that is, such structures are able to perceive torsion.

Lamellar rod farms are widely used for coating shops of the textile industry. Their advantages in comparison with ordinary farms allows to use under heavy loads. The nature of the formation of cracks in the lamellar elements shows that all elements of the lamellar-rod truss are experiencing a complex force.

The mating nodes of the lamellar elements of the lamellar-rod trusses must have greater rigidity from the plane of the truss than the knots of traditional trusses, for which they should be reinforced with spatial frameworks.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, пластинчато-стержневые фермы, статический расчет конструкций, эксперимент.

Keywords: reinforced concrete structures, plate-rod trusses, static calculation of structures, experiment.

Большинство строительных конструкций способны воспринимать нагрузки, действующие только в своей плоскости. Пластинчато-стержневые фермы способны сопротивляться кручению, то есть воспринимать нагрузки, действующие вне плоскости фермы [1...4].

Элементы конструкций пластинчато-стержневых ферм, подверженных кручению, работают в условиях более простого силового воздействия – испытывая внецентренное сжатие и внецентренное растяжение. Пластинчатые элементы помимо осевых воздействий испытывают поперечный изгиб, и их работа сопряжена со сложным напряженным состоянием [5...11].

Для подробного определения напряженно-деформированного состояния фермы рассмотрены: статический расчет пластинчато-стержневой фермы с определением изгибающих моментов, продольных и поперечных сил в каждом элементе фермы, также были проведены экспериментальные исследования крупномасштабных моделей пластинчато-стержневых ферм.

Для примера на рис.1 приведена схема железобетонной пластинчато-стержневой фермы пролетом 12 м. Составными частями фермы являются: нижний линейный стержневой пояс, верхний пластинчатый пояс, раскосы, имеющие пластинчатую форму, но переменного сечения, постепенно уменьшающегося от верхнего пояса к нижнему.

Все пластинчатые элементы ориентированы большей стороной прямоугольного по-

перечного сечения перпендикулярно плоскости фермы. На рис. 1 показана внешняя нагрузка, приложенная в плоскости, параллельной плоскости самой фермы. Данное нагружение фермы можно заменить силами, перенесенными в плоскость фермы, и крутящими моментами, приложенными в узлах.

Усилия в элементах фермы от нагрузки, расположенной в ее плоскости, определяются любым способом, известным строительной механике для расчета плоских стержневых систем. Рассмотрим силы, которые возникают в элементах пластинчато-стержневых ферм от действия внешних крутящих моментов.

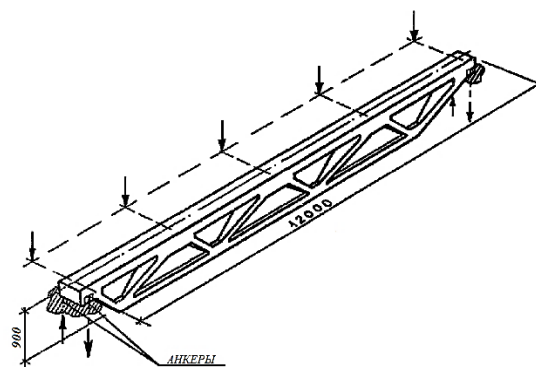


Рис. 1

Ферма способна воспринимать крутящие моменты, если она в целом закреплена на опорах против кручения. Внешние крутящие моменты от нагрузки, действующие на ферму, в сумме уравниваются реактивными опорными крутящими моментами.

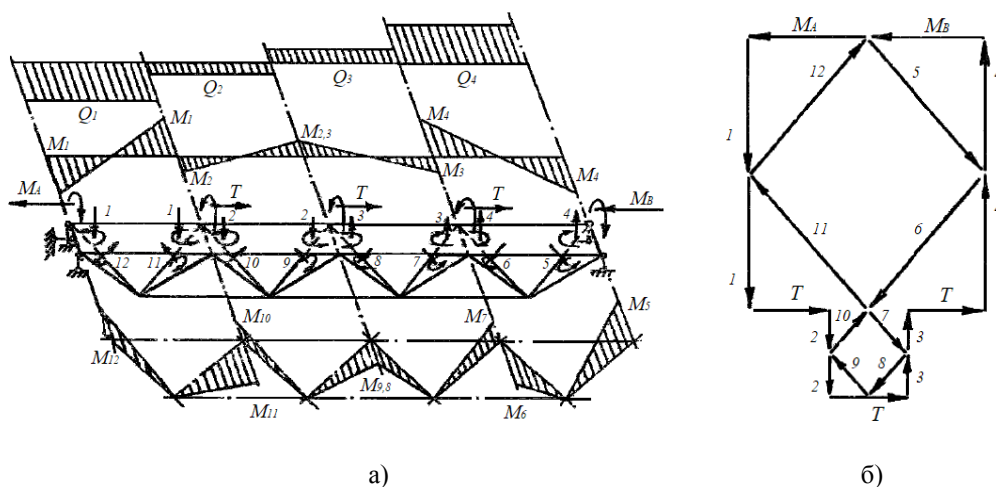


Рис. 2

На рис. 2 (расчетная схема пластинчато-стержневой фермы: а) – эпюры изгибающих моментов и поперечных сил; б) – диаграмма векторов моментов) отмечены изгибающие моменты, образующиеся в пластинчатых элементах фермы, и их векторы, направленные по правилу обратного буравчика. Подобное распределение моментов можно представить в расчетной схеме, изображая стержни заземленными в узлах пластинами, способными воспринимать изгибающие моменты только в своей плоскости.

Значения и знаки изгибающих моментов в элементах пластинчато-стержневых ферм могут определяться графическим методом (по диаграмме Кремоны-Максвелла) или методом вырезания узлов, начиная с опорного.

В опорном узле фермы крутящий момент M_A , действующий со стороны опоры,

$$M_1 = M_4 = 1,5 \frac{T}{\tan \alpha}; M_2 = M_3 = 0,5 \frac{T}{\tan \alpha}; M_5 = M_6 = M_{11} = M_{12} = 1,5 \frac{T}{\sin \alpha};$$

$$M_7 = M_8 = M_9 = M_{10} = 0,5 \frac{T}{\sin \alpha}; Q_1 = Q_4 = Q_5 = Q_6 = Q_{11} = Q_{12} = 1,5 \frac{T}{h};$$

$$Q_2 = Q_3 = Q_7 = Q_8 = Q_9 = Q_{10} = 0,5 \frac{T}{h},$$

где T – узловые крутящие моменты, кН·м; α – угол наклона раскосов к поясам, °.

В общем случае следует считать, что при действии внешних крутящих моментов, приложенных в узлах фермы, в пластинчатых элементах одновременно образуются как изгибающие, так и крутящие моменты. Однако, как показывают расчеты, жесткость пластинчатых элементов на кручение значительно меньше их жесткости на изгиб в плоскости пластин. В практических расчетах жесткостью на кручение отдельных элементов можно пренебречь.

Проведены экспериментальные исследования пластинчато-стержневой фермы. Было изготовлено четыре опытных образца, имеющих одинаковые геометрические размеры. Длина моделей – 3100 мм, высота сечения – 400 мм, ширина верхнего пояса – 200 мм, ширина нижнего пояса – 70 мм, толщина всех элементов – 50 мм, расстояние между осями опор – 3000 мм. Каркасы опытных образцов изготовлены из плоских каркасов. В качестве продольной рабочей арматуры ис-

раскладывается на два изгибающих момента, образующихся в примыкающих к опоре элементах фермы: M_1 – в плоскости пластинки верхнего пояса и M_{12} – в плоскости пластинки опорного нисходящего раскоса. Моменты M_A и M_{12} обеспечивают равновесие узла в проекции на вертикальную плоскость. Из равновесия узла в проекции на горизонтальную плоскость определяется изгибающий момент M_1 в примыкающей панели верхнего пояса.

Изгибающие моменты обоих приопорных элементов сопровождаются поперечными силами Q_1 и Q_{12} . Аналогично путем вырезания последующих узлов находятся изгибающие моменты и поперечные силы в остальных пластинчатых элементах.

Для фермы, изображенной на рис.1, изгибающие моменты и поперечные силы согласно изложенному выше равны:

пользовалась стержневая арматура периодического профиля класса А300, в качестве поперечной арматуры – арматурная проволока класса В500. Бетон образцов тяжелый, на мелком заполнителе класса В15.

Опытные образцы рассчитывались на действие вертикальной сосредоточенной силы $P = 20$ кН, в узле верхнего пояса и крутящего момента, создаваемого приложением силы P с эксцентриситетом $e = 0,3$ м. Во время испытания образцы опирались шарнирно на железобетонные тумбы испытательной установки.

Для измерения относительных деформаций в арматуре и бетоне применялись проволочные тензорезисторы с базой 20 и 50 мм соответственно. Кроме тензорезисторов на поверхность образца устанавливались механические приборы.

Результаты расчета: в экспериментальных образцах элементы верхнего пояса и средние раскосы согласно теории испытывают внецентренное сжатие, а крайние раскосы, примыкающие к опорным узлам –

внецентренное растяжение. Это подтвердилось экспериментом. Все пластинчатые элементы всех образцов к моменту разрушения в сечениях с максимальными изгибающими моментами имели как сжатые, так и растянутые зоны (рис. 3 – образец после испытания).

Характер образования трещин в пластинчатых элементах и данные приборов показывают, что все пластинчатые элементы пластинчато-стержневой фермы испытывают сложное силовое воздействие. Элементы верхнего пояса и восходящие раскосы подвержены поперечному изгибу и осевому сжатию, нисходящие раскосы – поперечному изгибу и осевому растяжению.



Рис. 3

Нижний стержневой пояс подвержен только осевому растяжению. Об этом свидетельствуют поперечные сквозные трещины, расположенные по всей длине пояса с одинаковым шагом, и, как в традиционных фермах, может выполняться предварительно-напряженным.

Пластинчато-стержневые фермы могут быть рекомендованы для перекрытий пролетов от 6 до 30 метров. Высота поперечного сечения всей конструкции может быть равной от 1/10 до 1/14 пролета. Нижний растянутый пояс пластинчато-стержневых ферм следует проектировать преднапряженным.

Пластинчато-стержневые фермы могут выполняться с опиранием как по верхнему, так и по нижнему поясу. Но опирание по верхнему поясу целесообразнее, так как при изготовлении будет использовано меньше материалов.

Пластинчато-стержневые фермы могут воспринимать крутящие моменты, если они закреплены на опорах анкерными связями. Узлы пластинчато-стержневых ферм должны обладать повышенной прочностью и жесткостью при поворотах стержней в направ-

лении из плоскости фермы, так как через них передаются не только осевые усилия, но и изгибающие моменты.

ВЫВОДЫ

Хорошая сходимости экспериментальных и теоретических данных подтверждает правильность предлагаемых методов определения внутренних сил и моментов.

Узлы сопряжения пластинчатых элементов пластинчато-стержневой фермы должны обладать большей жесткостью из плоскости фермы, чем узлы традиционных ферм, для чего их следует армировать пространственными каркасами.

Пластинчато-стержневые фермы могут применяться в строительной практике, а именно: для однобалочных переходов, подкрановых балок, крайних ригелей перекрытий с односторонним опиранием плит настила, конструкций, нагруженных двухсторонней временной нагрузкой разной интенсивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Топилин А.Н.* Пластинчато-стержневые железобетонные конструкции с повышенной сопротивляемостью кручению // Вестник МГСУ. – 2011, № 2-1. С. 105...109.
2. *Топилин А.Н.* Расчет пластинчато-стержневых ферм по второй группе предельных состояний // Промышленное и гражданское строительство. – 2016, №7. С. 61...64.
3. *Тамразян А.Г., Фаликман В.Р.* Основные требования к проектированию железобетонных конструкций по модельному кодексу ФИБ // Строительство и реконструкция. – 2016, № 3 (65). С. 71...77.
4. *Иванчев И.И., Топуров К.Х., Топилин А.Н., Иваненко Н.И.* Железобетонные автодорожные мосты // АСВ. – М., 2008.
5. *Rybak J., Tamrazyan A.G.* Calibration of rapid impulse compaction on the basis of vibration velocity control // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM Conference Proceedings. – 2016. С. 715...722.
6. *Тамразян А.Г., Орлова М.А.* К остаточной несущей способности железобетонных балок с трещинами // Жилищное строительство. – 2015, № 6. С.32...34.
7. *Tamrazyan A.* Reduce the impact of dynamic strength of concrete under fire conditions on bearing capacity of reinforced concrete columns // Applied Mechanics and Materials. – V. 475...476, 2014. P.1563...1566.

8. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures // *Procedia Engineering*. – V. 153, 2016. P.721...725.

9. Tamrazyan A.G. The assessment of reliability of punching reinforced concrete beamless slabs under the influence of a concentrated force at high temperatures // *Procedia Engineering*. – V. 153, 2016. P. 715...720.

10. Tamrazyan A., Filimonova E. Searching method of optimization of bending reinforced concrete slabs with simultaneous assessment of criterion function and the boundary conditions // *Applied Mechanics and Materials*. – V. 467, 2014. P. 404...409.

11. Тамразян А.Г. Рекомендации к разработке требований к живучести зданий и сооружений // *Вестник МГСУ*. – 2011, № 2-1. С. 77...83.

REFERENCES

1. Topilin A.N. Plastinchato-sterzhnevye zhelezobetonnye konstruksii s povyshennoy soprotivlyaemost'yu krucheniyu // *Vestnik MGSU*. – 2011, № 2-1. S.105...109.

2. Topilin A.N. Raschet plastinchato-sterzhnevyykh ferm po vtoroy grupe predel'nykh sostoyaniy // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. – 2016, №7. S. 61...64.

3. Tamrazyan A.G., Falikman V.R. Osnovnye trebovaniya k proektirovaniyu zhelezobetonnykh konstruksiy po model'nomu kodeksu FIB // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. – 2016, № 3 (65). S. 71...77.

4. Ivanchev I.I., Topurov K.Kh., Topilin. A.N., Ivanenko N.I. Zhelezobetonnye avtodorozhnye mosty // *ASV*. – M., 2008.

5. Rybak J., Tamrazyan A.G. Salibration of rapid impulse compaction on the basis of vibration velocity control // *International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM Conference Proceedings*. – 2016. S. 715...722.

6. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. K ostatochnoy neshchey sposobnosti zhelezobetonnykh balok s treshchinami // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. – 2015, № 6. S.32...34.

7. Tamrazyan A. Reduce the impact of dynamic strength of concrete under fire conditions on bearing capacity of reinforced concrete columns // *Applied Mechanics and Materials*. – V. 475...476, 2014. P. 1563...1566.

8. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures // *Procedia Engineering*. – V. 153, 2016. P. 721...725.

9. Tamrazyan A.G. The assessment of reliability of punching reinforced concrete beamless slabs under the influence of a concentrated force at high temperatures // *Procedia Engineering*. – V. 153, 2016. P. 715...720.

10. Tamrazyan A., Filimonova E. Searching method of optimization of bending reinforced concrete slabs with simultaneous assessment of criterion function and the boundary conditions // *Applied Mechanics and Materials*. – V. 467, 2014. P. 404...409.

11. Tamrazyan A.G. Rekomendatsii k razrabotke trebovaniy k zhivuchesti zdaniy i sooruzheniy // *Vestnik MGSU*. – 2011, № 2-1. S. 77...83.

Рекомендована кафедрой железобетонных и каменных конструкций. Поступила 16.04.18.