

– выбор и обоснование параметров организации строительного производства;

– исследование значений этих параметров для различных типов и комплексов зданий и условий строительства.

Качественное решение основных организационно-технических задач, стоящих перед строительной отраслью, возможно только с учетом вероятностных факторов. Исследование факторов надежности с учетом организационно-технологических аспектов деятельности системы – важнейший источник повышения эффективности функционирования строительного комплекса.

#### **Список цитированных источников**

1. *Дикман Л.Г.* Организация строительства в США / Л.Г. Дикман, Д.Л. Дикман. М.: АСВ, 2004.-376с.

2. *Крашеников А.В.* Градостроительное развитие жилой застройки. Исследование опыта западных стран. Архитектура: учебное пособие. М., 2005.-112 с.

3. Организация строительного производства: ТКП 45-1.03-161-2009 (02250). – Введ. 07.12.2009. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 51 с. Технический кодекс установившейся практики.

4. *Гусаков А.А., Гинзбург А.В., Веремеенко С.А. и др.* Организационно-техническая надежность строительства. М.: SvR-Аргус, 1994.-472 с.

5. *Гусаков А.А., Богомолов Ю.М., Брехман А.И. и др.* Системотехника строительства. Энциклопедический словарь. М.: Ассоциация строительных вузов, 2004.-320с

УДК 681.3:624.04

***Петран П.И.***

***Научный руководитель: доцент Игнатюк В.И.***

### **О СТАТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ СЕГМЕНТНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ФЕРМ В СООТВЕТСТВИИ С ЕВРОКОД**

Рассматривается статический расчет деревянных сегментных ферм на действие нагрузки, изменяющейся в соответствии с Еврокодом по треугольной зависимости на левую (правую) половину ферм.

**Геометрические характеристики ферм.** Рассматриваются три вида (рисунк 1) сегментных ферм, верхний пояс которых изменяется по окружности, узлы нижнего пояса расположены равномерно (с равным шагом), а узлы верхнего пояса расположены в точках пересечения окружности верхнего пояса и радиусов этой окружности  $R$ , разбивающих полный угол сегмента  $\alpha$  на равные углы  $\Delta\alpha$  (рис. 2) ( $\Delta\alpha=\alpha/n$ , где  $n$  – число панелей на верхнем поясе фермы).

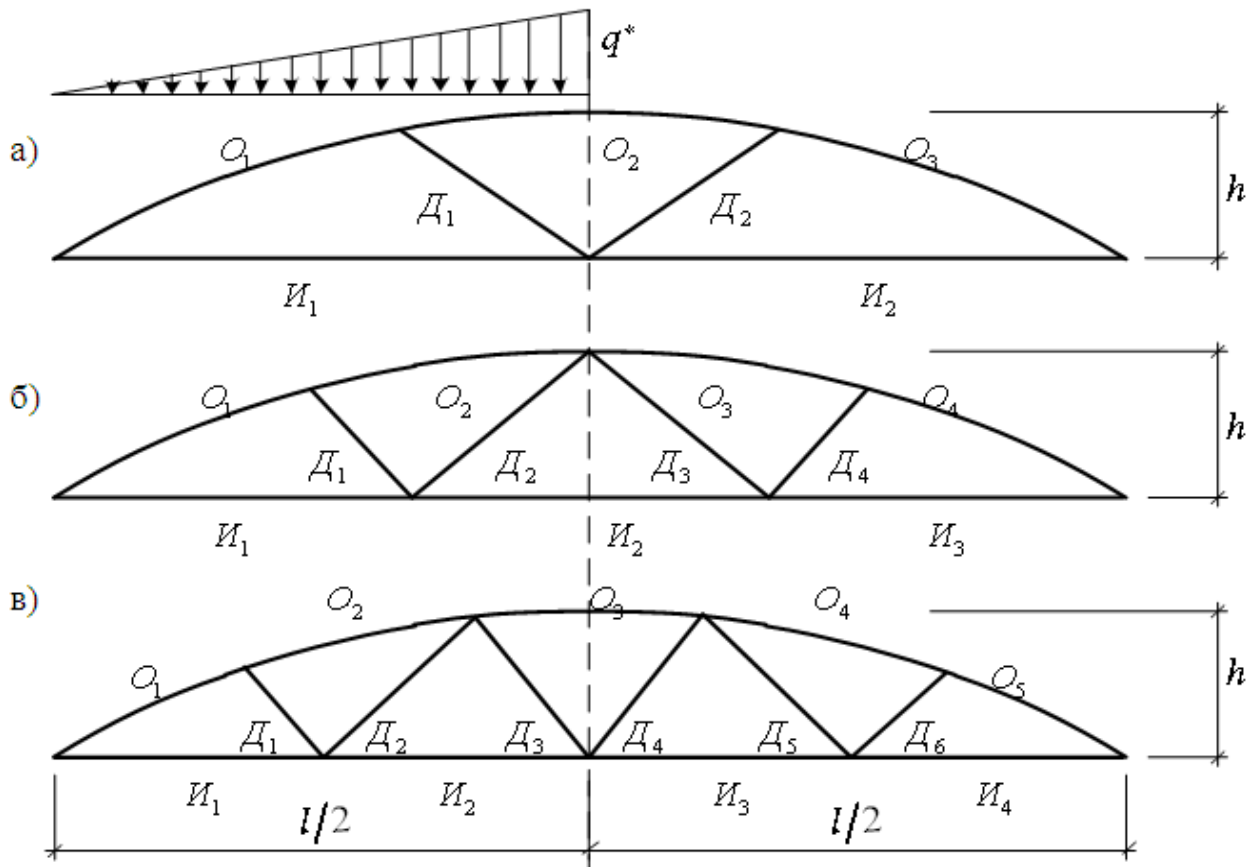
Радиус окружности, образующий верхний пояс фермы, вычисляется по формуле:

$$R = \frac{l^2 + 4 \cdot h^2}{8 \cdot h}. \quad (1)$$

При заданном соотношении высоты фермы  $h$  к длине ее пролета  $l$  ( $h=kl$ ) получим

$$R = \frac{l^2 + 4 \cdot k^2}{8 \cdot k} \cdot l = \rho \cdot l, \quad (2)$$

где  $\rho = \frac{l^2 + 4 \cdot k^2}{8 \cdot k}$  – безразмерный параметр радиуса, не зависящий от длины пролета и одинаковых для всех ферм с заданным соотношением  $k$ .



**Рисунок 1 – Схемы сегментных ферм с тремя (а), четырьмя (б) и пятью (в) панелями на верхнем поясе**

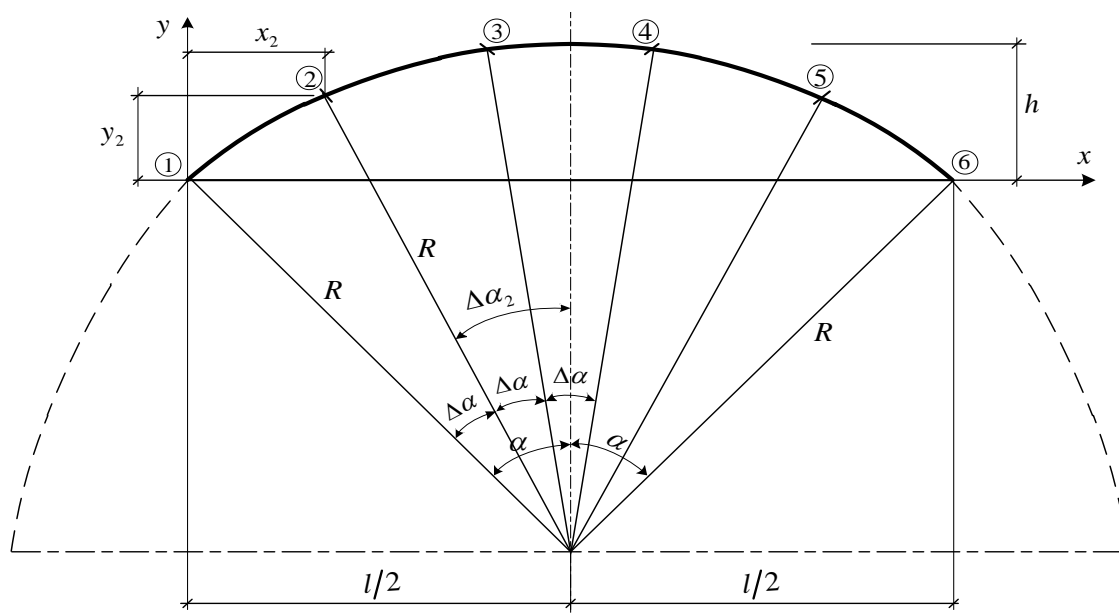
Угол  $\alpha$ , характеризующий величину сегмента, найдем из соотношений (рис. 2):

$$\sin \alpha = \frac{l}{2 \cdot R} = \frac{4 \cdot k}{1 + 4 \cdot k^2}; \quad \alpha = \arcsin \frac{4 \cdot k}{1 + 4 \cdot k^2}. \quad (3)$$

Координаты  $i$ -го узла верхнего пояса тогда могут быть найдены по выражениям (рис. 2):

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{l}{2} - R \sin(\Delta \alpha_i) = \left[ \frac{1}{2} - \rho \sin(\Delta \alpha_i) \right] \cdot l; \\ y_i &= R \cdot \sin(\Delta \alpha_i) - (R - h) = \{ \rho \cdot [\cos(\Delta \alpha_i) - 1] + k \} \cdot l, \\ y_i &= R \cdot \sin(\Delta \alpha_i) - (R - h) = \{ \rho [\cos(\Delta \alpha_i) - 1] + k \} \cdot l, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\Delta \alpha_i = \left[ 1 - \frac{2 \cdot (i-1)}{n} \right] \cdot \alpha$  – угол, отмеряемый от средней вертикали оси до радиуса к  $i$ -му узлу против часовой стрелки.



**Рисунок 2**

Используя представленные формулы вычисляются все геометрические параметры ферм.

**Расчет узловых нагрузок.** Рассматривается действие нагрузки, изменяющейся по треугольной зависимости на левую (правую) половину ферм (снеговые нагрузки согласно Еврокоду) (рисунок 1). Для расчета ферм эти нагрузки необходимо привести к узловым силам. Сделать это можно по ниже представленным зависимостям:

а) для ферм с тремя панелями на верхнем поясе:

а) для ферм с тремя панелями на верхнем поясе:

$$P_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{q}{l} \cdot x_2^2; \quad P_2 = \frac{q}{3 \cdot l} \left[ 2 \cdot x_2^2 + \frac{9}{2} \cdot x_2 \cdot \left( \frac{l}{2} - x_2 \right) + (l - 2 \cdot x_2) \cdot \left( \frac{l}{2} - x_2 \right) \right];$$

$$P_3 = \frac{5}{12} \cdot \frac{q}{l} \cdot (l - 2 \cdot x_2) \cdot \left( \frac{l}{2} - x_2 \right); \quad P_4 = 0;$$

б) для ферм с четырьмя панелям на верхнем поясе:

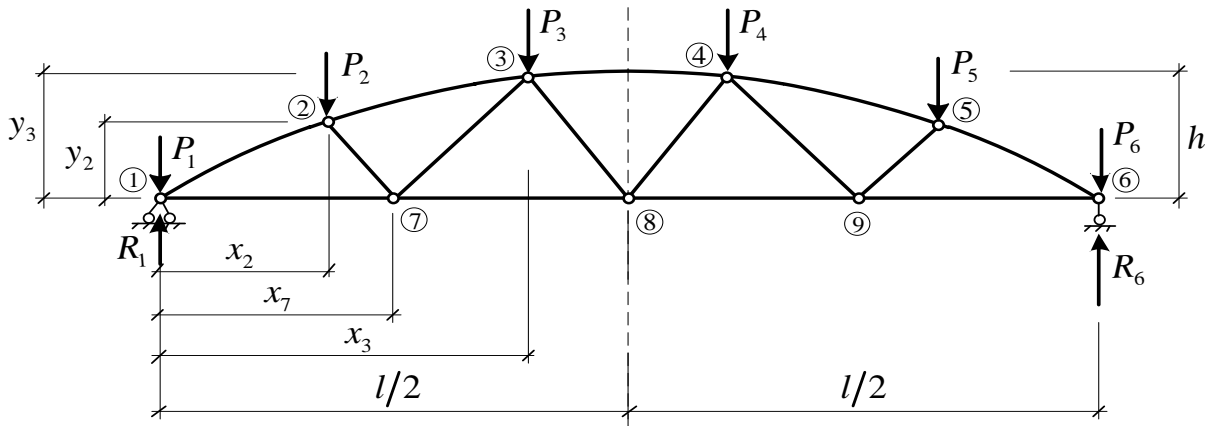
$$P_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{q}{l} \cdot x_2^2; \quad P_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{q}{l} \left[ 4 \cdot x_2^2 + \left( \frac{l}{2} - x_2 \right) \cdot \left( \frac{l}{2} + 2 \cdot x_2 \right) \right]; \quad P_3 = \frac{q}{3 \cdot l} \cdot \left( \frac{l}{2} - x_2 \right) \cdot (l - x_2); \quad P_4 = P_5 = 0;$$

в) для ферм с пятью панелями на верхнем поясе:

$$P_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{q}{l} \cdot x_2^2; \quad P_2 = \frac{q}{3 \cdot l} \cdot \left[ 2 \cdot x_2^2 + (x_3 - x_2) \cdot (2 \cdot x_2 + x_3) \right]; \quad P_5 = P_6 = 0;$$

$$P_3 = \frac{q}{3 \cdot l} \left[ (x_3 - x_2) \cdot (2 \cdot x_3 - x_2) + \frac{9}{2} \cdot x_3 \cdot \left( \frac{l}{2} - x_3 \right) + (l - 2 \cdot x_3) \cdot (0,5 \cdot l - x_3) \right]; \quad P_4 = \frac{5}{12} \cdot \frac{q}{l} \cdot (l - 2 \cdot x_3) \cdot \left( \frac{l}{2} - x_3 \right);$$

**Статический расчет ферм.** Рассматриваемые сегментные деревянные фермы на расчетных схемах принимаются шарнирно-стержневыми, а элементы верхнего пояса принимаются прямолинейными. С учетом этого фермы будут статически определимыми и могут быть рассмотрены способом вырезания узлов [3]. Для автоматизации процесса, который позволит рассчитывать соответствующие фермы с различными соотношениями размеров, получим расчетные выражения для определения усилий в элементах ферм, вырезая последовательно узлы ферм. Получим эти зависимости на примере ферм с пятью панелями на верхнем поясе (рис. 3). Это наиболее сложный вариант.



**Рисунок 3 – Расчетная схема фермы**

Опорные реакции определяются из уравнения равновесия:

$$\sum M_1 = 0; \quad \sum M_6 = 0.$$

Теперь вырезаем узлы 1, 2, 7, 3 и т.д. и рассматриваем их равновесие. Уравнения равновесия в виде сумм проекций сил в узлах на горизонтальную и вертикальную оси ( $x$  и  $y$ ) позволяют получить систему уравнений, решая которую, найдем усилия в элементах ферм:

Узел 1:  $\sum x = 0; \quad N_{1-2} \cos \alpha_1 + N_{1-7} = 0;$

$$\sum y = 0; \quad N_{1-2} \sin \alpha_1 + R_1 - P_1 = 0;$$

Узел 2:  $\sum x = 0; \quad -N_{1-2} \cos \alpha_1 + N_{2-3} \cos \alpha_2 + N_{2-7} \cos \alpha_3 = 0;$

$$\sum y = 0; \quad -N_{1-2} \sin \alpha_1 + N_{2-3} \sin \alpha_2 - N_{2-7} \sin \alpha_3 - P_2 = 0;$$

Узел 7:  $\sum x = 0; \quad -N_{1-7} + N_{2-7} \cos \alpha_3 + N_{7-3} \cos \alpha_4 + N_{7-8} = 0;$

$$\sum y = 0; \quad N_{2-7} \sin \alpha_3 + N_{7-3} \sin \alpha_4 = 0;$$

Узел 3:  $\sum x = 0; \quad -N_{2-3} \cos \alpha_2 - N_{7-3} \cos \alpha_4 + N_{3-4} + N_{3-8} \cos \alpha_5 = 0;$

$$\sum y = 0; \quad -N_{2-3} \sin \alpha_2 - N_{7-3} \sin \alpha_4 + N_{3-8} \sin \alpha_5 - P_3 = 0;$$

Для определения усилий в остальных стержнях фермы можно использовать эти же уравнения, если рассмотреть ферму симметрично с правой стороны, заменив соответственно узлы 1, 2, 7, 3, на узлы 6, 5, 9, 4, опорную реакцию  $R_1$  на  $R_6$ , а узловые силы  $P_1, P_2, P_3$  на  $P_6, P_5$  и  $P_4$ .

Величины углов определяются соотношениями:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{y_2}{x_2}; \quad \alpha_2 = \arctg \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}; \quad \alpha_3 = \arctg \frac{y_2}{x_7 - x_2}; \quad \alpha_4 = \arctg \frac{y_3}{x_3 - x_7}; \quad \alpha_5 = \arctg \frac{y_3}{x_8 - x_3}.$$

По основе полученных зависимостей для расчета геометрических параметров и усилий в элементах ферм разработан алгоритм расчета и составлена программа в среде MathCad.

**Результаты расчета.** Получены результаты расчета трех типов ферм (с тремя, четырьмя и пятью панелями на верхнем поясе) с отношением  $h/l=1/6; 1/7$  от нагружения нагрузками, распределенными по треугольной зависимости  $q_x=q$  при параметре  $q^*$ , равном единице ( $q^*=1$ ) (см. табл. 1 и 2). Такой подход позволяет получить значения соответствующих коэффициентов, с помощью которых затем можно найти геометрические размеры ферм и усилия в них, умножая эти коэффициенты на величины нагрузки  $q$  и длину пролета ферм  $l$ .

$$l_{cm} = \beta_{cm} \cdot l; \quad x_i = \gamma_{xi} \cdot l; \quad y_i = \gamma_{yi} \cdot l; \quad N = \alpha \cdot q \cdot l;$$

где  $l$  – длина стержня;  $x_i, y_i$  – координаты  $i$ -го узла фермы;  $N$  – продольное усилие в стержне.

Ниже представлены результаты расчетов для двух из вариантов ферм.

Таблица 1 – Значения коэффициентов для определения продольных сил в стержнях ферм с пятью панелями и  $h_{\max}=(1/7)l$

Элемент		Коэффициент $\alpha$ для нагрузки
Вид	Обозначение	Распределенной по треугольнику на $l/2$
Верхний пояс	O <sub>1</sub>	-0.3795839968
	O <sub>2</sub>	-0.3226762044
	O <sub>3</sub>	-0.2252759229
	O <sub>4</sub>	-0.1537415612
	O <sub>5</sub>	-0.1451092039
Нижний пояс	I <sub>1</sub>	0.3425708891
	I <sub>2</sub>	0.270413233
	I <sub>3</sub>	0.1801386128
	I <sub>4</sub>	0.1309596543
Решётка	D <sub>1</sub>	-0.0503116972
	D <sub>2</sub>	0.0609714376
	D <sub>3</sub>	-0.0741391485
	D <sub>4</sub>	0.0741391485
	D <sub>5</sub>	-0.0415550056
	D <sub>6</sub>	0.0342898731

Таблица 2 – Значения коэффициентов для определения продольных сил в стержнях ферм с тремя панелями и  $h_{\max}=(1/6)l$

Элемент		Коэффициент $\alpha$ для нагрузки
Вид	Обозначение	Распределенной по треугольнику на $l/2$
Верхний пояс	O <sub>1</sub>	-0.0629657168
	O <sub>2</sub>	0.1176539131
	O <sub>3</sub>	-0.1502540012
Нижний пояс	I <sub>1</sub>	0.0572598805
	I <sub>2</sub>	0.1366382628
Решётка	D <sub>1</sub>	-0.2275290664
	D <sub>2</sub>	0.0813262322

**Заключение.** Представлена методика статического расчета деревянных сегментных ферм на действие нагрузки, изменяющейся по треугольной зависимости на левую (правую) половину ферм. Получены расчетные зависимости, реализованные в Mathcad-программу расчета ферм. Выполнен расчет ряда типов ферм на соответствующие единичные нагружения, получены результаты, позволяющие определять усилия в фермах с конкретными размерами от заданных величин нагрузок.

#### Список цитированных источников

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.: Высш. шк., 1986. – 607 с.