УДК 69.04

ФЕРМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
♦♦♦♦♦
TRUSSES IN CONSTRUCTION

Долгополов Василий Евгеньевич
старший преподаватель
кафедры архитектуры
гражданских и промышленных зданий имени А.В. Титова,
Кубанский государственный
технологический университет
dolgopolov_v@icloud.com

Коновалов А.А.
студент,
Кубанский государственный
технологический университет
konovalov_201@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена использованию ферм в строительной отрасли. Рассматриваются их преимущества перед традиционными технологиями, а также возможности для оптимизации процессов возведения зданий. Особое внимание уделено вопросам экономичности и долговечности конструкций с применением ферм.

Ключевые слова: фермы, стропильные фермы, узлы, усилия, верхний пояс, нижний пояс.

Dolgopolov Vasily Evgenievich
Senior lecturer at the Department
of Architecture of Civil and Industrial
Buildings named after A.V. Titov,
Kuban State Technological University
dolgopolov_v@icloud.com

Konovalov A.A
Student,
Kuban State Technological University
konovalov_201@mail.ru

Annotation. The article is devoted to the use of trusses in the construction industry. Their advantages over traditional technologies are considered, as well as the possibilities for optimizing the processes of building construction. Special attention is paid to the issues of cost-effectiveness and durability of structures using trusses.

Keywords: trusses, rafter trusses, nodes, efforts, upper belt, lower belt.

Применение конструкций из ферм весьма разнообразно. Их используют при строительстве ангаров, цехов производственных зданий, спортивных и зрелищных сооружениях, технологических зданиях и т.д.

Рациональность использования при строительстве ферм для масштабных объектов определяется множеством факторов, такими как конфигурация фермы, требования к жесткости конструкции, действующим нагрузкам и др.

Ферма.

Ферма – сквозная решетчатая конструкция, состоящая из отдельных прямолинейных стержней, соединенных между собой в узлах. Эта система геометрически неизменяема даже в том случае, если все реальные узловые соединения заменены идеальными шарнирами. В действительности узлы фермы не являются шарнирами. Пояса фермы представляют собой неразрезные стержни, а узловые соединения обладают значительной жесткостью

Фермы, как и балки, могут изготавливаться из металла, железобетона и дерева. Типовые пролеты ферм применяют при пролетах 18, 24, 36 метров.

Фермы являются основой многих стержневых систем и разнообразны по назначению. Их используют в конструкции покрытий зданий (стропильные, подстропильные фермы), междуэтажных перекрытий, в качестве контурных диафрагм оболочек, складок и др.

Область применения ферм – промышленное, гражданское и сельскохозяйственное строительство. Ферма работает на изгиб от внешней вертикальной нагрузки, как правило, приложенной в узлах. Благодаря этому в элементах фермы возникают осевые растягивающие и сжимающие усилия, что обеспечивает более полное, сравнительно с балками, использование несущей способности материала.

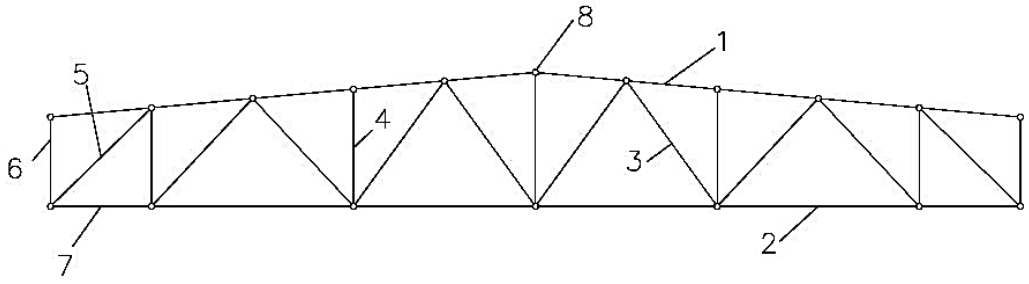

Рисунок 1 – Схема фермы:
1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс: 3 – раскос; 4 – стойка; 5 – опорный раскос;
6 – опорная стойка; 7 – опорный учел; 8 – коньковый узел

Стальные фермы

Стальные фермы в отличие от металлических балок за счет решетчатой конструкции требуют меньше металла. При подвесном потолке создается проходной чердак, обеспечивающий пропуск инженерных коммуникаций или свободный проход по чердаку. Фермы выполняют, как правило, из стальных профилей, а пространственные трехгранные фермы – из стальных труб.

Фермы могут быть двухопорными (разрезными), многоопорными (неразрезными) и консольными. Неразрезные фермы, разгруженные в пролете в результате действия опорных моментов, оказываются легче разрезных. Однако они сложнее в изготовлении, монтаже и чувствительнее к осадкам опор. Неразрезные и консольные фермы не типизированы и применяются редко, главным образом для уникальных покрытий больших пролетов.

Очертание верхнего пояса ферм определяется, главным образом, архитектурой здания и увязывается с материалом кровли и уклоном. Линию нижнего пояса определяют наличие подвесного потолка, подвесного транспорта и требования интерьера.

Фермы с параллельными поясами и трапециевидные наиболее просты по форме и в изготовлении, поэтому они широко применяются в гражданских и промышленных зданиях различного назначения, имея небольшую строительную высоту по сравнению с фермами других типов.

Треугольные фермы используются для покрытия зданий с крутой (25–45°) холодной кровлей из мелкоразмерных материалов (кровельная сталь, черепица, плоские и волнистые асбестоцементные листы и т.п). Конструктивные недостатки этих ферм – разнотипность элементов и узлов.

Наиболее экономичны по расходу материалов сегментные фермы, эффективность применения которых возрастает с увеличением пролета, но они трудоемки в изготовлении из-за кривизны верхнего пояса, а также различной длины элементов решетки. Поэтому на практике сегментные фермы заменяют полигональными, со спрямленными элементами верхнего пояса в пределах основных узлов.

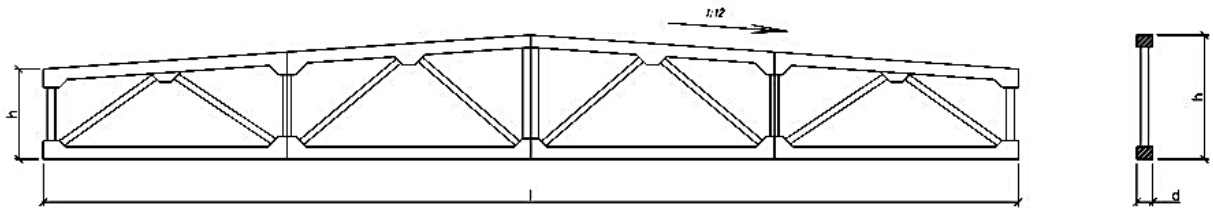

Рисунок 2 – Составная двухскатная железобетонная ферма, состоящая из двух полуферм с предварительно-напряженным нижним поясом

Железобетонные фермы

Железобетонные фермы – могут быть выполнены цельными длиной до 30 м, составными (из двух полуферм, нескольких блоков) или из отдельных элементов длиной более 30 м. Последний способ является невыгодным из-за трудоемкого монтажа.

Отношение высоты фермы к пролету 1/6–1/9. Длина прямолинейных панелей фермы – 1,5 или 3 м (ширина плит покрытия). Для арочных ферм, где момент от внеузловой нагрузки компенсируется моментами обратною знака от эксцентричного действия продольных сил, длина панелей может быть увеличена до размеров, кратных ширине плит покрытия.

По условию устойчивости ширина сечения верхнего пояса фермы h принимается равной (1/70–1/80)/. Конструктивно она связана с шагом ферм: при шаге 6 м ширину сечения Ь назначают равной 20–25 см; при шаге 12 м – 30–35 см. Ширина сечения верхнего и нижнего поясов, а также раскосов и стоек принимается, как правило, одинаковой для удобства бетонирования. Иногда в целях экономии бетона ширину сечения элементов решетки принимают на 10–15 см меньше ширины поясов. Сечения поясов проектируют квадратными или прямоугольными с соотношением $b / h = 1,2 – 1,3$

Нижний пояс выполняется обычно горизонтальным, верхний пояс может иметь горизонтальное, треугольное, сегментное или полигональное очертания. Наибольшее распространение получили железобетонные полигональные (двухскатные) фермы

Максимальная длина запроектированных железобетонных ферм составляет около 100 м при шаге 12 м. Недостатком железобетонных ферм является большая конструктивная высота. Для уменьшения собственной массы ферм необходимо применять высокопрочные бетоны и внедрять легкие плиты покрытия из эффективных материалов.

Треугольные фермы – самые невыгодные ввиду их большой высоты и значительного расхода материалов. Применение таких ферм оправдано только в случае использования кровли со значительным уклоном из асбестоцементных или металлических листов.

Наиболее целесообразны по распределению материала сегментные или арочные фермы с ломаным или криволинейным верхним поясом, приближающимся по очертанию к параболической эпюре моментов. В этих фермах усилия в поясах распределяются более равномерно, а усилия в решетке значительно меньше, чем в фермах других очертаний. Сегментные и арочные фермы имеют незначительную высоту на опоре, что позволяет уменьшить высоту стен. Фермы трапециевидные и с параллельными поясами имеют большую высоту на опоре, что увеличивает расход материала на стены здания; они тяжелее сегментных и арочных ферм, но менее трудоемки.

Таблица 1 – Сравнительная таблица технико-экономических показателей стальной и железобетонной фермы пролетом 24 м

Параметр	Стальная ферма (с параллельными поясами)	Железобетонная ферма (сборная, полигональная)	Комментарии
1	2	3	4
1. Материалы			ЖБ ферма в 3–4 раза тяжелее
Основной материал	Сталь (С245, С345)	Бетон (В30-В40), арматура (А500С, Ат800)	
Расход материала	2,5–3,5 т (~120–170 кг/м²)	8–12 м³ бетона + 0,8–1,2 т арматуры (~400–600 кг/м²)	
Стоимость материалов	180000–250000 руб./т (готовые МК)	35000–50000 руб./м³ бетона + 80000–100000 руб./т арматуры	
2. Изготовление			ЖБ требует дорогих форм
Заводская стоимость	250000–350000 руб./т	60000–90000 руб./м³ (с учетом оснастки)	
Сроки изготовления	2–4 недели	4–8 недель (зависит от завода)	
3. Транспортировка			ЖБ дороже из-за веса и габаритов
Вес фермы	5–8 т	20–30 т	
Стоимость перевозки	30000–60000 руб.	100000–200000 руб. (негабарит)	

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
4. Монтаж			ЖБ сложнее стыковать
Требуемая техника	Кран 25–50 т	Кран 50–100 т	
Стоимость монтажа	80000–150000 руб.	150000–300000 руб.	
Сроки монтажа	1–3 дня	5–10 дней	
5. Защита/отделка			
Антикоррозионная обработка	20000–50000 руб. (грунт + покраска)	Не требуется (в неагрессивной среде)	
Огнезащита	30000–80000 руб. (при необходимости)	Не требуется	
6. Влияние на фундамент			ЖБ требует усиленных фундаментов
Нагрузка на опоры	5–8 т	20–30 т	
Экономия на фундаменте	100000–200000 руб	Доп. затраты 150000–300000 руб.	
7. Суммарные затраты (1 ферма)	1,5–2,5 млн руб.	2,0–3,5 млн руб.	Сталь дешевле при пролете 24 м
8. Эксплуатационые расходы			
Обслуживание	Перекраска каждые 5–10 лет (~50000 руб.)	Минимальные (осмотр)	
Ремонтопригодность	Легко ремонтируется	Сложный ремонт (инъектирование трещин)	
9. Долговечность	40–50 лет (при защите)	50–70 лет (при качественном бетоне)	
10.Огнестойкость	Требует огнезащиты (R15–R30)	Высокая (R60–R90 без доп. мер)	
11.Гибкость конструкции	Легко модифицируется	Жесткая, сложно изменить	

Основные преимущества металлических и железобетонных ферм

Металлические и железобетонные фермы обладают рядом ключевых преимуществ по сравнению с другими конструкциями, такими как деревянные или композитные. Металлические фермы отличаются высокой прочностью, долговечностью и устойчивостью к нагрузкам, что делает их идеальными для больших пролётов и промышленных сооружений. Они легче железобетонных аналогов, что упрощает монтаж и снижает нагрузку на фундамент. Железобетонные фермы, в свою очередь, сочетают прочность бетона на сжатие и устойчивость арматуры к растяжению, обеспечивая высокую несущую способность и огнестойкость. Оба типа ферм обладают отличной устойчивостью к внешним воздействиям, включая перепады температур и агрессивные среды, а также позволяют создавать сложные архитектурные формы.

В заключении, можно сказать, что металлические и железобетонные фермы являются оптимальным выбором для строительства промышленных, гражданских и сельскохозяйственных объектов благодаря своей прочности, долговечности и адаптивности к различным эксплуатационным условиям.

Литература

1. Байков В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М. : Стройиздат, 2019. – 576 с.
2. ГОСТ 23118-2012 Конструкции стальные строительные. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2013.
3. Еременко В.И. Металлические конструкции в строительстве – СПб. : Лань, 2020. – 448 с.
4. СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции. – М. : Госстрой СССР, 1985.
5. Трофимов В.И. Строительные конструкции: Металлические, каменные, армокаменные. Проектирование и расчет / В.И. Трофимов, А.В. Каминский. – М. : Инфра-Инженерия, 2018. – 496 с.

6. Хайдуков В.В. Фермы покрытий и перекрытий: проектирование и расчет. – М. : АСВ, 2017. – 320 с.
7. Таратута В.Д. Большепролетные конструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений : учеб. пособие / В.Д. Таратута, А.М. Бегельдиев. – Краснодар : КуБГАУ, 2017. – 187 с.

References

1. Baykov V.N. Reinforced concrete structures. General course / V.N. Baykov, E.E. Sigalov. – M. : Stroyizdat, 2019. – 576 p.
2. GOST 23118-2012 Steel construction structures. General technical conditions. – M. : Standartinform, 2013.
3 Eremenko V.I. Metal structures in construction. – SPb. : Lan, 2020. – 448 p.
4. SNiP 2.03.01-84 Concrete and reinforced concrete structures. – M. : Gosstroy of the USSR, 1985.
5. Trofimov V.I. Building structures: Metal, stone, and armoured stone. Design and calculation / V.I. Trofimov, A.V. Kaminsky. – M. : Infra-Engineering, 2018. – 496 p.
6. Khaidukov V.V. Trusses of coverings and floors: design and calculation. – M. : DIA, 2017. – 320 p.
7. Taratuta V.D. Large–span structures of industrial and civil buildings and structures : textbook. manual / V.D. Taratuta, A.M. Begeldiev. – Krasnodar : KubGAU Publ., 2017. – 187 p.