

А.А. Брянцев¹

(¹ Казахская головная архитектурно-строительная академия,
г. Алматы, Республика Казахстан)

ВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФЕРМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ЛИРА-САПР

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию экономической эффективности использования ферм различного очертания и форм сечения. На сегодняшний день металлические фермы в большепролетном строительстве практически не имеют альтернативы благодаря быстрому производству, монтажу, а, главное, тем качественным характеристикам, которыми они обладают. Это отличное соотношение массы каркаса и его расчетной нагрузки, долговечность, простота монтажа и сборки, устойчивость к внешним воздействиям. На практике в результате вариантного проектирования определяют такое конструктивное решение, которое обеспечивает минимум затрат на приобретение материала, изготовление конструкции и монтаж. В рамках данной работы было определено, а также рекомендуется при проектировании использовать полученное наиболее экономичное конструктивное решение.

Ключевые слова: ферма, экономическая эффективность, анализ, сечение фермы, стоимость.

Введение

Ферма – структура, которая состоит из отдельных наклонных раскосов или вертикальных стоек, которые соединены между собой в отдельные узлы, расположенные на нижнем и верхнем поясе фермы с помощью разных соединений, их совокупности образуют жесткую или шарнирную конструкцию [1].

Конструкция фермы – это верхний и нижний пояса, соединенные между собой решеткой (рис. 1). Решетка состоит, как правило, из раскосов и стоек. В ряде случаев для уменьшения длины панели восприятия в узлах прикладываемой нагрузки в состав решетки вводят шпренгели и подвески (рис. 1) [2].

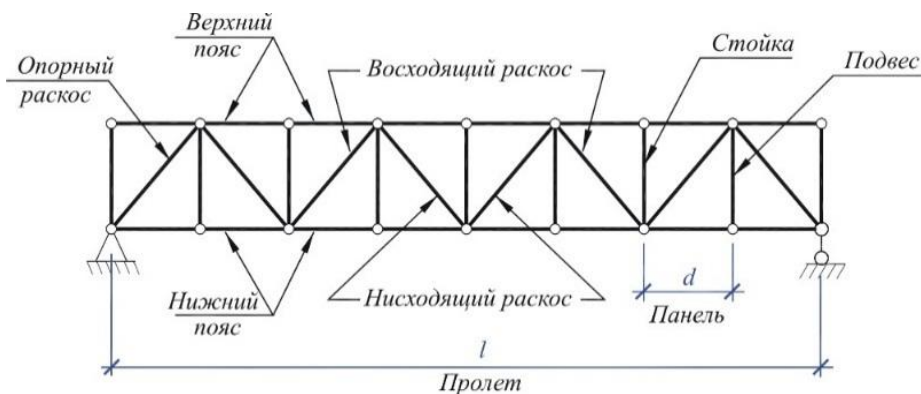


Рис. 1. Схема элементов ферм

Фермы часто используются в таких областях строительства: в покрытиях и перекрытиях промышленных и гражданских зданий, мостах, опорах линий электропередачи, объектах связи, телевидения и радиовещания (башни, мачты), транспортных эстакадах, гидротехнических затворах, грузоподъемных кранах и т.д.

Статическая схема ферм. По статической схеме фермы бывают: балочными (разрезными, неразрезными, консольными), арочными, рамными, вантовыми.

В промышленном и гражданском строительстве наибольшее распространение получили балочные системы, при этом в однопролетных зданиях, как правило, применяют разрезные системы (рис. 2, а) в силу своей простоты при изготовлении и монтаже.

В многопролетных зданиях распространение получили не разрезные фермы (рис. 2, б, в), обладающие большей жесткостью и меньшей материалоемкостью. Однако неразрезным фермам присущи недостатки всех внешне статически неопределимых систем, а именно: чувствительность к неравномерным осадкам, колебаниям температуры, у них более сложный монтаж. Консольные фермы (рис. 2, е) широко используются для башен, мачт, опор ЛЭП, навесов.

В ряде случаев для уменьшения длины панели восприятия в узлах прикладываемой нагрузки в состав решетки вводят шпренгели (рис. 2, д) и подвески или предварительное натяжение (рис. 2, ж).

В некоторых случаях используют полукруглые арочные фермы (рис. 2, г). Возможна также в одной ферме комбинация различных типов решетки.

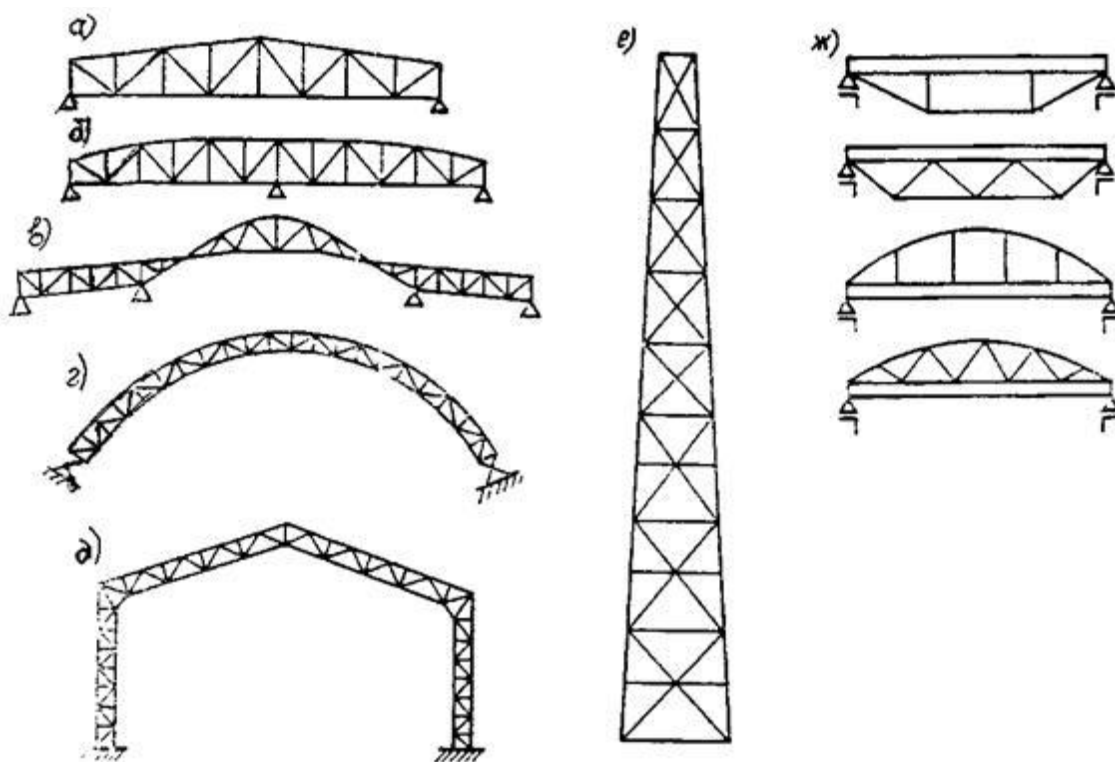


Рис. 2. Статические системы ферм

Фермы состоят из следующих элементов:

Верхний пояс. Состоит из горизонтальной, наклонной, радиусной или ломаной балки, к которой крепятся все верхние соединительные узлы стоек;

Нижний пояс. Горизонтальная продольная балка, на которой расположены нижние соединительные узлы стоек или раскосов;

Стойки. Элементы, расположенные вертикально между верхним и нижним поясом. Предназначены для восприятия и распределения основной нагрузки по всей конструкции фермы. Работают на сжатие;

Раскосы. Наклонные стойки, которые связывают узлы, расположенные на верхнем и нижнем поясе устройства. Устанавливаются в конструкции под углом 45 градусов и работают на сжатие и растяжение;

Узлы (панели). Точки, расположенные на поясах фермы, в которых соединяются диагональные раскосы или вертикальные стойки [3].

Высотой ферм задаются из учета минимизации расхода стали, архитектурной выразительности, требований жесткости и условий транспортировки и монтажа. При этом необходимо учитывать эксплуатационные затраты, например, на отопление здания, антикоррозионную обработку, зависящие соответственно от высоты фермы и площади поверхности элементов.

Методы исследования

Главные задачи выполненного исследования:

- изучение и исследование применения ферм при строительстве зданий и сооружений;

- моделирование ферм с одинаковыми геометрическими параметрами, но разной формой решетки и сечения, используя при этом современные расчетные программные комплексы;

- поиск наиболее эффективной формы с целью экономии массы и стоимости металла;

- выполнить сравнительный анализ наиболее эффективных образцов ферм по каждой из форм сечения (уголок, круглая труба, квадратная труба) между собой, с целью определения наиболее эффективной формы сечения фермы;

- в виде графиков и таблиц представить сравнительный анализ полученных результатов.

Особенность работы фермы заключается в том, что при приложении нагрузки в узлы ферм и пересечении осей элементов в одной точке (в центре узла) жесткость узлов несущественно влияет на работу конструкции и в расчете узлы могут приниматься шарнирными. Как известно, стержень, имеющий на краях шарниры, при отсутствии поперечных нагрузок по длине может воспринимать только сжимающие или растягивающие усилия [4].

Для начала расчета необходимо определить общую суммарную величину нагрузок на фермы, которая в дальнейшем будет использована при расчете в программном комплексе ЛИРА-САПР-2017. Для этого был выполнен сбор нагрузок (табл. 1).

Таблица 1. Сбор нагрузок на ферму

№	Наименование	Нормативная нагрузка, g_n , Н/м ²	Коэффициент надежности γ_f	Расчетная нагрузка g_p
Постоянные нагрузки				
1.1	С44-1000-0,7 оцинк. Масса 1 кв. м – 7.4 кг/м ² Профнастил оцинк.	72.59	1.05	76.22
1.2	Утеплитель t=150 мм p=20 кг/м ³	29.43	1.30	38.26
1.3	Гн шв 100x50x5 Масса 1 п/м – Нержавеющий швеллер	46.70	1.05	46.03
1.4	С21-1000-0,7 оцинк. Масса 1 кв. м – 7.4 кг/м ² Профнастил оцинк.	72.59	1.05	76.22
2	Временная нагрузка			
2.1	Снеговая нагрузка	1500	1.4	2100
	Итого			
		1721.31	Всего	2336.73

Расчетная нагрузка (g) составила 2336.73 кг на 1 п.м. Для того чтобы найти общую нагрузку на фермы, умножаем это значение на площадь 126 м². Получено общее значение нагрузки на ферму, равное 30 т. Нагрузка передавалась на ферму в виде сосредоточенной нагрузке на узлы верхнего пояса, в зоне крепления пояса с раскосами и стойками фермы.

Нагрузка была одинаковой для всех форм и сечений ферм, а главным критерием при подборе сечения фермы было сравнение первого предельного состояний (несущая способность) (табл. 2). Подбор сечения фермы выполнялся при достижении предельного состояния подобранного сечения фермы в промежутке 95-97.

Таблица 2. Подбор сечений на ферму по массе

№	Профиль	Сечения	Масса (W_t , кг/м)
1	Уголок ранополочный	50x50x6	4,456
2	Труба б\ш горячекатаная	45x4,5	4,493
3	Квадратная гнутая замкнутая сварная труба	60x2,5	4,39

Далее (рис. 3) по вышеуказанным результатам был спроектирован 41 вид ферм с разными сечениями и профилями, из спаренного уголка, трубы круглой и трубы квадратной. Далее был выполнен сравнительный анализ с целью определения наиболее эффективного варианта (рис. 3).

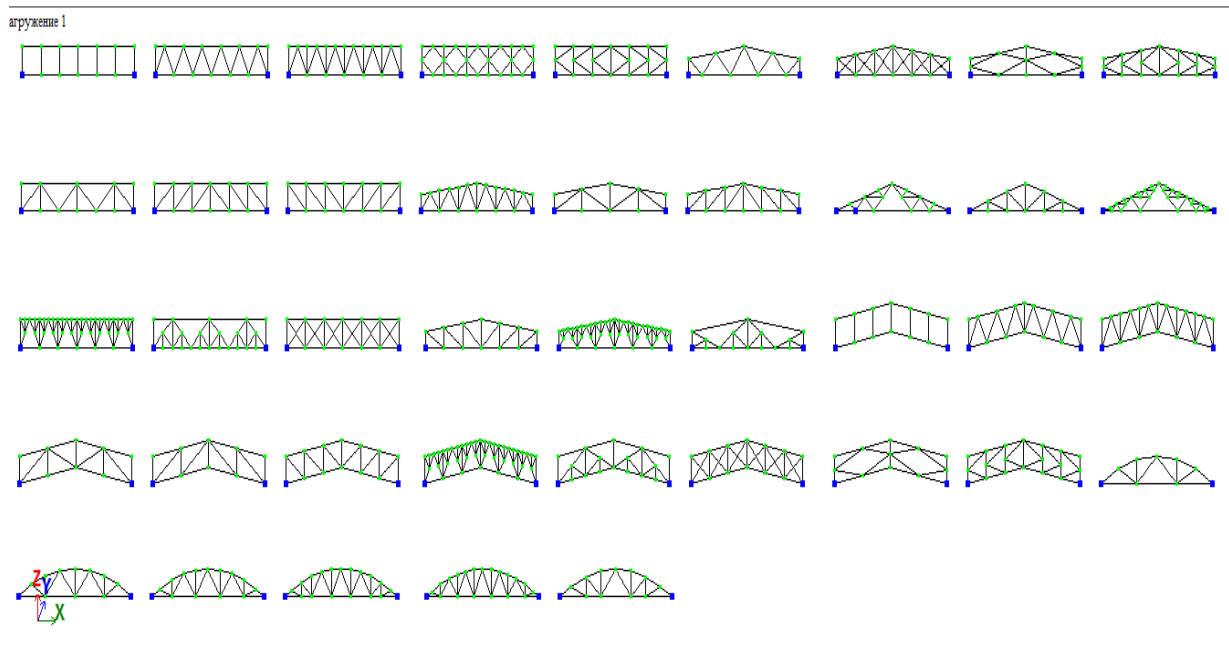


Рис. 3. Общий вид 41 фермы в программе ЛИРА-САПР

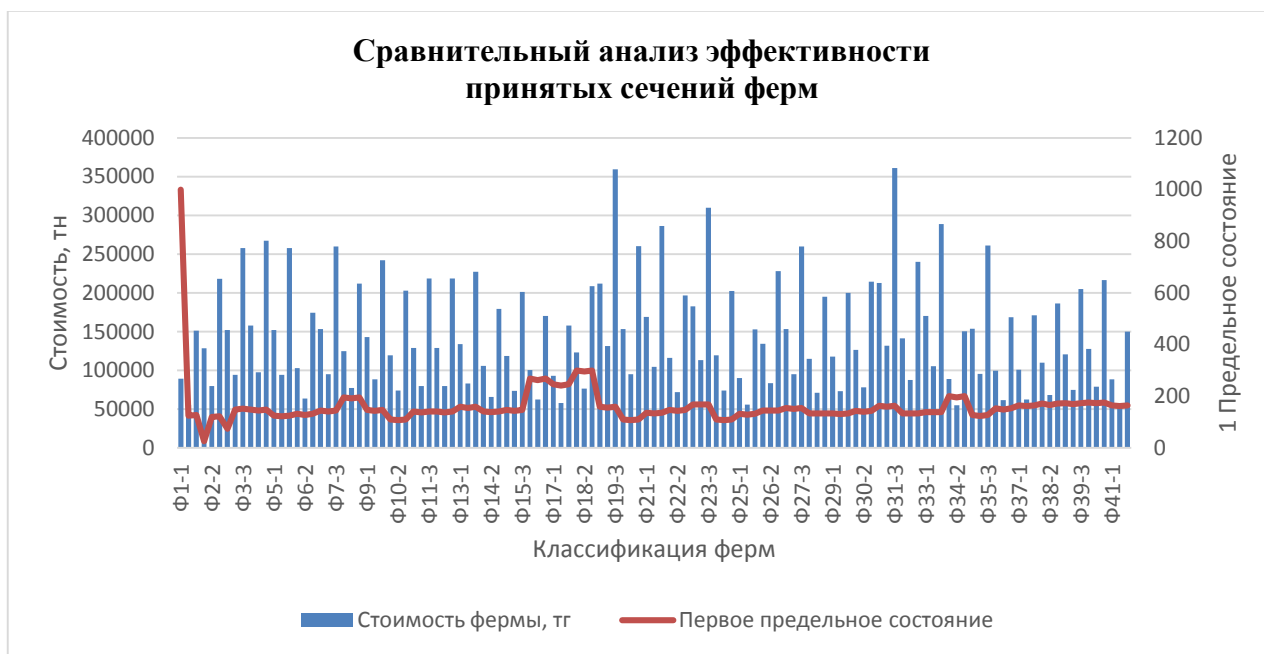


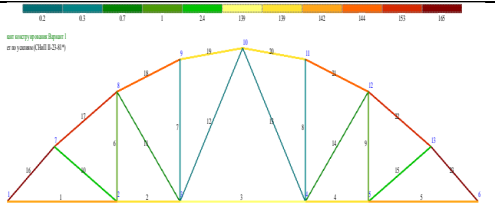
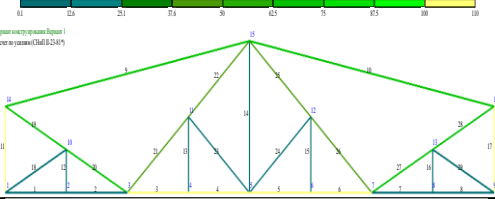
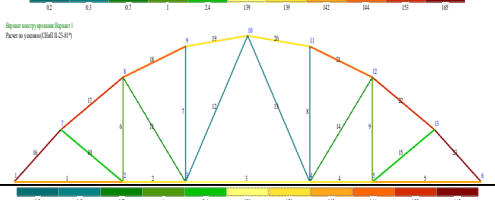
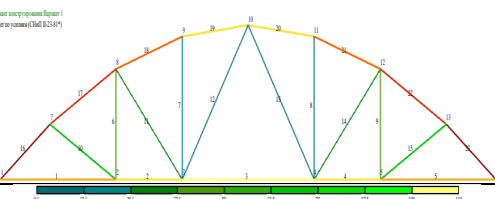
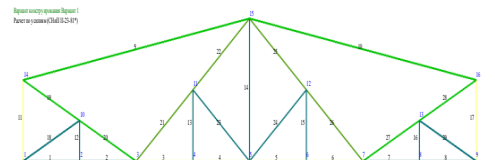
Рис. 3. Сравнительный анализ эффективности принятых сечений ферм

Из найденных, наиболее эффективных вариантов ферм по профилю был выполнен сравнительный анализ по массе, стоимости и полученному первому предельному состоянию (табл. 3).

Таким образом, из всех трех наиболее эффективных вариантов профилей, самым оптимальным является ферма – Ф2-1 с профилем из \perp , так как имеет среднюю стоимость материала, по сравнению с остальными и самое минимальное и допустимое предельное состояние по несущей способности из всех исследованных ферм.

Таблица 3. Информация о наиболее эффективных вариантах ферм различного по очертанию и сечению профиля

№	Марка ферма	Эскиз ферм	Суммарная нагрузка на ферму	Форма профиля	Сравнительный анализ эффективности		
					Масса	Стоимость	Предельное состояние
1	Ф41-1		30 т		294	88603	165
2	Ф41-1		30 т		294	88603	165
3	Ф2-1		30 т		427	128653	25,3
4	Ф34-2, <u>Ф41-2</u>		30 т		297	55034 <u>54909</u>	196 <u>162</u>

5	Φ41-2		30 т	○	297	54909	162
6	Φ10-2, Φ-20-2, Φ24-2		30 т	○	401 514 400	74143 95140 73961	107
7	Φ41-3		30 т	□	290	150222	165
8	Φ41-3		30 т	□	290	150222	165
9	Φ10-3, Φ20-3, Φ24-3		30 т	□	392 502 391	202843 260284 202342	110

*В таблице жирным шрифтом отмечен самый эффективный вариант из предложенных 3-х одинаковых ферм с одинаковой несущей способностью и разной массой и стоимостью.

Выводы

1. В программном комплексе ЛИРА-САПР-2017 была смоделирована 41 ферма и подобраны 3 вида профиля \perp , \bigcirc , \square для сравнения между собой по несущей способности, массе и стоимости.

2. Выполнен анализ полученных данных по расчету ферм по несущей способности, приведены сравнительные таблицы и графики по массе, стоимости материала и первому предельному состоянию для сечений \perp , \bigcirc , \square .

3. Анализируя полученные данные из таблицы и графика, подобран самый оптимальный и эффективный вариант фермы с сечением 50x50x6 и профилем из \perp . Ферма имеет массу 427 кг, стоимость 128653 тг, несущую способность по первому предельному состоянию 25,3. Эффективность данного варианта обусловлена надежностью, экономичностью и наименьшей стоимостью.

Литература:

1. Москаев Н.С., Проносин Я.А., Корсун Н.Д., Парлашкевич В.С. Металлические конструкции, включая сварку: учеб. пособие / Под ред. проф., к.т.н. В.С. Парлашкевич. – Гл. 11 «Фермы». – М.: Изд-во «АСВ», 2016. – С. 280-319.
2. Будур А.И., Белогуров В.Д. Стальные конструкции: Справочник конструктора / Под общ. ред. Шимановского А.В. – К.: «Сталь», 2010. – 299 с.
3. Трофимов В.И., Каминский А.М. Лёгкие металлические конструкции зданий и сооружений: учеб. пособие. Гл. 3 «Ферменные конструкции». – М.: Изд-во «АСВ», 2002. – С. 89-121.
4. Кудишин Ю.И., Беленя Е.И., Игнатьева В.С. и др. // «Металлические конструкции». Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Раздел 1. Гл. 9 «Фермы»/ Под ред. Кудишина Ю.И. – 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – С. 261-301.

Бұл мақала әртүрлі пішіндегі және көлденең қимадағы фермаларды пайдаланудың экономикалық тиімділігін зерттеуге арналған. Бүгінгі таңда үлкен құрылыстардағы металл фермаларда тез өндіруге, орнатуға және ең бастысы, олардың сапалық сипаттамаларына байланысты балама жоқ. Бұл раманың массасы мен оның есептелген жүктемесінің тамаша қатынасы, беріктігі, монтаждау мен құрастырудың қарапайымдылығы, сыртқы әсерлерге төзімділігі. Іс жүзінде, опцияны жобалау нәтижесінде материалды сатып алуға, құрылымды жасауға және орнатуға минималды шығындарды қамтамасыз ететін осындай конструктивті шешім анықталады. Осы жұмыс аясында анықталған, сонымен қатар жобалау кезінде алынған ең үнемді конструктивті шешімді қолдану ұсынылады.

Түйін сөздер: ферма, экономикалық тиімділік, талдау, ферма бөлімі, құны.

This article is devoted to the study of the economic efficiency of using trusses of various outlines and sectional shapes. Today, metal trusses in large-span construction have practically no alternative due to fast production, installation, and most importantly, the quality characteristics they possess. This is an excellent ratio of the mass of the frame and its design load, durability, ease of installation and assembly, resistance to external influences. In practice, because of variant design, a constructive solution is determined that provides a minimum of costs for the acquisition of material, fabrication of the structure and installation. Within the framework of this work, it was determined and recommended when designing to use the obtained most economical constructive solution.

Key words: farm, economic efficiency, analysis, cross section of the farm, cost.