

## ПРОКАТТЫК ЖАНА ШИРЕТИЛГЕН УСТУНДАРДЫН ЖАНА АР КАНДАЙ УЗУНДУКТАГЫ ТҮТҮКТӨРДӨН ЖАНА БУРЧТАРДАН ЖАСАЛГАН ФЕРМАЛАРДЫН ИШТӨӨСҮН ИЗИЛДӨӨ

Камбар Нургуль Алдиярқызы<sup>1</sup>, Абиляхан Анель Аббасқызы<sup>2</sup>, Александр Александрович Брянцев<sup>3</sup>

(1) Стр-18-5 гр.ст. «Казак баикы архитектура-курулушакадемиясы» ЭБК, Казакстан Республикасы, Алматы ш. [kambar\\_nurgul@mail.ru](mailto:kambar_nurgul@mail.ru)

(2) [anel.2000@mail.ru](mailto:anel.2000@mail.ru)

(3) Илимий жетекчи, философия илимдеринин доктору (PhD), ЭБК (КазБАКА) [bryancev8989@mail.ru](mailto:bryancev8989@mail.ru)

**Аннотация.** Бул макала ар кандай сызып чийилген жана кесилиш формасындагы фермаларды, ар кандай узундуктагы прокаттык, ширетилген жана бүктөмөлөнгөн устундарды пайдалануунун натыйжалуулугун аныктоого жана натыйжалуу вариантты тандоого арналган. Натыйжалуулуктун негизги чен белгилери конструкциялардын чек абалы, алардын салмагы жана наркы болуп саналат. Азыркы убакта чоң аралык ээ болгон курулушта металл конструкцияларды пайдалануунун көптөгөн варианттары бар жана тез өндүрүү, куроо, эң баикысы алар ээ болгон сапаттык мүнөздөмөлөрүн эске алуу керек. Практикада варианттуу долбоорлоонун жыйынтыгында материалды сатып алууга, конструкцияны даярдоого жана куроого азыраак чыгымдарды камсыздагандай, конструктивдүү чечимди аныкташат. Бул изилдөөнүн алкагында долбоорлоодо алынган үнөмдүү конструктивдүү чечимди аныктоо жана пайдалануу сунушталган.

**Негизги сөздөр:** ферма; прокаттык устун; ширетилген устун; бүктөмөлөнгөн устун; экономикалык натыйжалуулук; талдоо; кесилиш; салмак.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОКАТНЫХ И СВАРНЫХ БАЛОК И ФЕРМ ИЗ ТРУБЫ И УГОЛКОВ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНЫ

Камбар Нургуль Алдиярқызы<sup>1</sup>, Абиляхан Анель Аббасқызы<sup>2</sup>, Александр Александрович Брянцев<sup>3</sup>

(1) ст. гр. Стр-18-5 МОК «Казахская головная архитектурно-строительная академия», Республика Казахстан, г. Алматы [kambar\\_nurgul@mail.ru](mailto:kambar_nurgul@mail.ru)

(2) [anel.2000@mail.ru](mailto:anel.2000@mail.ru)

(3) Научный руководитель, доктор философии (PhD), МОК (КазГАСА) [bryancev8989@mail.ru](mailto:bryancev8989@mail.ru)

**Аннотация.** Данная статья посвящена определению эффективности использования ферм различного очертания и форм сечения, прокатных, сварных и гофрированных балок при их различной длине и определению наиболее эффективного варианта. Основными критериями эффективности являются предельные состояния конструкций, их масса и стоимость. В нынешняя время есть много вариантов использования металлических конструкций в большепролетном строительстве, и надо учитывать быстрое производство, монтаж, а главное, качественные характеристики, которыми они обладают. На практике в результате вариантного проектирования определяют такое конструктивное решение, которое

обеспечивало бы минимум затрат на приобретение материала, изготовление конструкции и монтаж. В рамках данного исследования было определено и рекомендовано при проектировании использовать полученное наиболее экономичное конструктивное решение.

**Ключевые слова:** ферма; прокатная балка; сварная балка; гофрированная балка; экономическая эффективность; анализ; сечение; масса.

## INVESTIGATION OF THE OPERATION OF ROLLED AND WELDED BEAMS AND TRUSSES MADE OF PIPES AND CORNERS OF VARIOUS LENGTHS

Kambar Nurgul Aldiyarkyzy<sup>1</sup>, Abilkhan Anel Abbaskyzy<sup>2</sup>, Aleksandr Aleksandrovich Bryantsev<sup>3</sup>

(1) *st.gr. CE-18-5 IEC «Kazakh Leading Academy of Architecture and Civil Engineering», Republic of Kazakhstan, c. Almaty [kambar\\_nurgul@mail.ru](mailto:kambar_nurgul@mail.ru)*

(2) *[anel.2000@mail.ru](mailto:anel.2000@mail.ru)*

(3) *Scientific Supervisor, Doctor of Philosophy(PhD), IEC(KazLAACE) [bryancev8989@mail.ru](mailto:bryancev8989@mail.ru)*

**Abstract.** *This article is devoted to determining the efficiency of using trusses of various shapes and cross-sections, rolled, welded and corrugated beams with their different lengths and determining the most effective option. The main criteria for efficiency are the limit states of structures, their mass and cost. At the present time, there are many options for using metal structures in large-span construction, and it is necessary to take into account the rapid production, installation, and most importantly, the quality characteristics that they possess. In practice, as a result of variant design, a design solution is determined that would provide a minimum of costs for the purchase of material, the manufacture of the structure and installation. Within the framework of this study, it was determined and recommended to use the most economical design solution obtained during the design process.*

**Key words:** *trusses; rolled beam; welded beam; corrugated beam; economic efficiency; analysis; section; mass.*

### Введение

При проектировании зданий в металлическом каркасе с пролетом более 6 метров принято использовать прокатные и сварные балки, балки с гофрированными стенками и фермы [1-8].

Главные задачи выполненного исследования:

- моделирование и расчет ферм и балок с одинаковыми геометрическими параметрами (длина и несущая способность) в современном расчетном комплексе;
- исследование работы ферм и балок различной длины при действии на них статических нагрузок;
- определение эффективности ферм и балок, с целью экономии массы и стоимости металла;
- сравнительный анализ ферм по форме сечения (уголок или круглая труба);
- сравнительный анализ прокатных и сварных и балок с фермами;
- замена сварных балок с плоской стенкой на гофрированную;

- представление сравнительного анализа полученных результатов в виде таблиц и графиков;

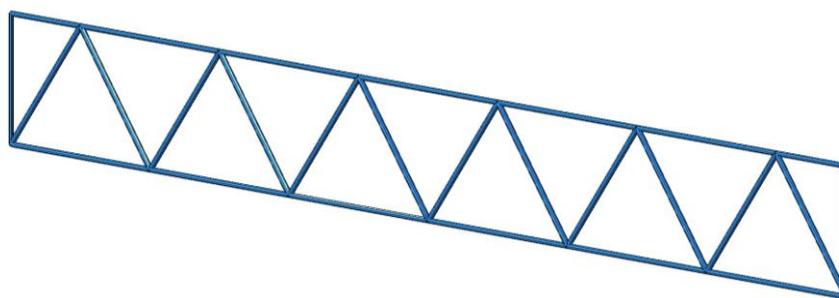
До начала расчета конструкций был выполнен сбор нагрузок и определена суммарная величина одинаковых узловых нагрузок на ферму и балку, необходимая для дальнейшего расчета на программе ЛИРА-САПР, для создания одинаковой загруженности рассматриваемых образцов, в зависимости от длины конструкций.

В расчетное сочетание усилий были введены два вида загружений:

1. собственный вес конструкций;
2. Экспериментальная нагрузка от массы покрытия и снега.

«Экспериментальная нагрузка» на 1 п.м конструкции была определена равной 2337кг. Для проведения исследования были приняты балки и фермы различной длины – 6,9,12,18,24,30,36,48 м.

Очертание фермы было принято из работы [9], как одно из наиболее эффективных очертаний фермы по несущей способности (рис. 1).



*Рис.1. Ферма Ф-1 с горизонтальными поясами*

## **Методы**

Сравнительный анализ ферм типовой серии (1.263.2-4 вып.4) (таблица 1), выполненных из спаренных уголков и бесшовных труб, и балок (прокатных марки Б и Ш, сварных и гофрированных) (таблица 2) был выполнен в программе ЛИРА-САПР-2017.В таблице 1, 2 и 3 представлены основные сравниваемые характеристики рассмотренных 12 вариантов ферм и 14 вариантов балок. Выборочно в таблицах приведены полученные данные для некоторых из рассмотренных образцов.

Таблица 1. Полученные экспериментальные данные для ферм Ф4 из спаренных уголков и трубы

Фермы	Эскизы ферм	Форма профиля		Сечения профиля	Wt, кг/м.п.	Размер фермы(l *h)	Длина стержней фермы (м)	Стоимость сечения, тт/м	Масса фермы, кг	Стоимость фермы, тт	Первое предельное состояние	Второе предельное состояние	Местная устойчивость стальных стрижней	Деформативность от экспериментальной нагрузки, мм
Ф4-1			стойки	102*4	9,663	30*3,15	6,3	6625	1402,3	947909	97,4	77,7	0	-31,5
			раскосы	133*4	12,72		48,24	8613						
			верх. и ниж. Пояс	127*4	12,13		60	8178						
Ф4-2			раскосы	100*100*6,5	10,06	30*3,15	48,24	5540	2444	676619	91,5	96,3	55,2	-17,6
			верх. и ниж. Пояс	110*110*7	11,89		60	6543						
			стойки	60*60*4	3,704		6,3	2665						

Таблица 2. Полученные экспериментальные данные прокатных балок

Балки	Эскизы балок	Сечения профиля	Wt, кг/м.п.	Длина балки, м	Стоимость сечения, тт/м	Масса балки, кг	Стоимость балки, тт	Первое предельное состояние	Второе предельное состояние	Местная устойчивость стальных стрижней	Деформативность от экспериментальной нагрузки, мм
Б2-1		70П1	169,8	18	99958	3056,4	1799244	47	89,3	45,2	-41,9
Б2-2		80Б1	159,4	18	96941	2869,2	1744938	51,6	92,3	54,5	-36,1

Таблица 3. Полученные экспериментальные данные сварных балок

Балки	Эскизы балок	Сечения профиля	Wt, кг/м.п.	Длина балки, м	Стоимость сечения, тт/м	Масса балки, кг	Стоимость балки, тт	Первое предельное состояние	Второе предельное состояние	Местная устойчивость стальных стрижней	Деформативность от экспериментальной нагрузки, мм
Б3		320x14	161,61	24	96966	3878,64	2327184	77,6	77,68	61,9	-55,3
		630x18									
Б4		450*16	256,77	30	154062	7703,1	4621860	74,3	95	93,2	-85,5
		1250*14									

В процессе проектирования прокатных балок в программном комплексе ЛИРА-САПР было определено, что, начиная с пролета 18 м, не обеспечивается несущая способность конструкции, в случае использования прокатных балок.

Исходя из этого, было определено, что при пролете 18 м и более следует использовать сварные двутавровые балки, так как подтверждена их эффективность по несущей способности.

Для определения эффективности использования балок с гофрированной стенкой взамен прокатных балок, прокатные балки заменялись балками с гофрированной стенкой по требуемому моменту сопротивления и моменту инерции, в соответствии с данными из [10].

Сравнительный анализ экономической эффективности прокатных и гофрированных балок был выполнен в виде таблицы 3.

Таблица 3. Результаты сравнительного анализа эффективности прокатных и гофрированных балок.

Характеристики	Прокатная балка -6м				Прокатная балка-9м				Прокатная балка -12м				Прокатная балка -18м			
	40Б1	40/50БГС1	30Ш1	30/37ШГС1	50Б1	45/103БГС2	40Ш1	40/67ШГС1	60Б2	70/70БГС0	60Ш1	60/80ШГС2	80Б1	80/108ШГС1	70Ш1	70/101ШГС2
Момент сопротивления Wx	803,6	1029	715	792	1511	1581	1771	1971	2936	3295,1	3701	4311,1	5044	5262,6	5036	5708,2
Момент сопротивления Wy	86,7	147	147	161,3	160,6	80,1	420	250	309,6	437,4	581	634,8	446	512,5	650	691,2
Момент инерции Ix	15750	25210,5	10400	14256	37160	80631	34360	64747,4	87640	111703,2	107300	168349,2	199500	279178,8	172000	282839,3
Момент инерции Iy	714,9	1543,5	1470	1774,7	1606	620,6	6306	3125	3561	5904,9	9302	10950,3	6244	7944,3	10400	12441,6
Масса 1 п.м. металла, кг	47,16	42,8	53,6	46,01	72,96	40,99	96,04	62,96	115,6	95,35	142,1	118,31	159,4	112,46	169,8	122,7
Экономия материала на 1 п.м. металла, %		10,08		14,16		43,81		34,44		17,5		16,74		29,4		27,7
Стоимость, тг		57144,42		53157,6		116052,48		76364,37		236849,4		293882,04		593924,4		419025,96

Для сравнения массы, стоимости и несущей способности ферм, прокатных и сварных балок, а также балок с гофрированными стенками одинаковой длины, был сделан сравнительный график. В данной работе приведены только два графика сравнительного анализа эффективности конструкций длиной 18м и 36м, однако, можно заметить, что металлическая ферма при любой длине имеет минимальную массу, а по несущей способности эффективнее сварные балки(рис.2).

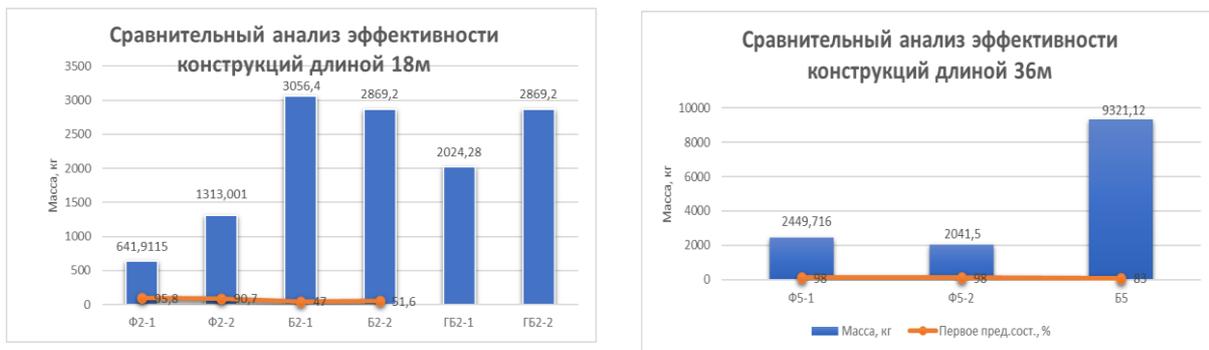


Рис. 2. Сравнительный анализ эффективности конструкций длиной 18 м и 36 м

Также, представлены графики сравнительного анализа стоимости конструкций длиной 30 м и 36м (рис.3). Анализируя полученные данные графиков, самой эффективной по стоимости является ферма типовой серии, выполненная из спаренных УГОЛКОВ.

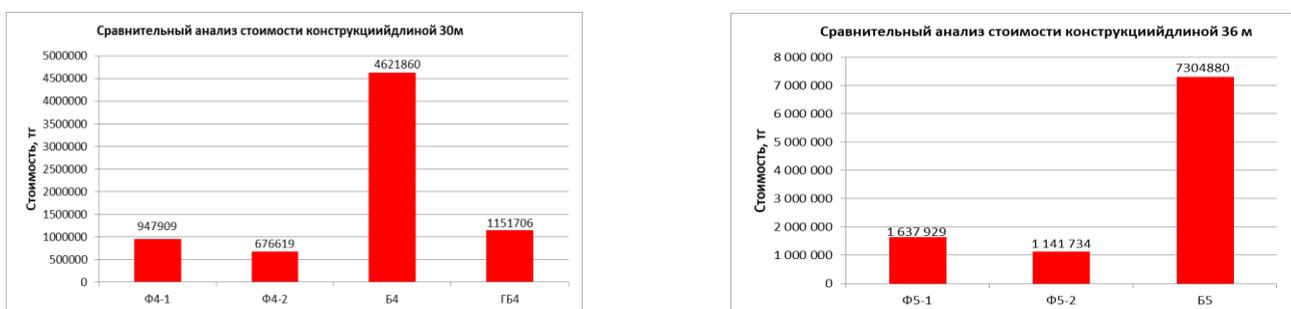


Рис. 3. Сравнительный анализа стоимости конструкций длиной 30 м и 36 м

## **Выводы**

1. В программном комплексе ЛИРА-САПР-2017 были смоделированы фермы, прокатные и сварные балки, а также в соответствии с данными из [10] были подобраны балки с гофрированными стенками для сравнения между собой по несущей способности, массе и стоимости.

2. В ходе расчета прокатных балок в программном комплексе ЛИРА-САПР заметили, что, начиная при пролете 18м не обеспечивается несущая способность. Исходя из этого, рекомендуется использовать сварные балки при пролете 18 м и выше.

3. Анализируя полученные данные из таблиц и графиков, можно отметить, что металлические фермы наиболее эффективный и оптимальный вариант по сравнению с прокатными и сварными балками и балками с гофрированными стенками.

Если основной целью является экономия стоимости конструкции, то рекомендуется выбрать ферму с профилем из , а если же целью является уменьшение веса конструкции тогда выгоднее использовать ферму с профилем из .

4. Эффективным и оптимальным вариантом, который не уступает металлической ферме, является балка с гофрированной стенкой. Применение балок с гофрированной стенкой взамен плоских значительно повышает экономию материала на 1 п.м. металла начиная от 10,08% (минимальное значение) и заканчивая 45,09% (максимальное значение).

## **Заключение**

Сплошностенчатые конструкции из сварных двутавров обладают рядом преимуществ по сравнению с решетчатыми конструкциями. К числу этих преимуществ относятся: высокая технологичность по всем заготовительным и сборочным операциям с единой технологической базой; исключительная надежность, в том числе при воздействии динамических нагрузок, включая сейсмические, а также при воздействии низких температур; повышенная коррозионная стойкость; малая строительная высота; возможность максимально оптимизировать весовые показатели сечений, параметры которых могут меняться в широких пределах, в отличие от жесткофиксированных геометрических параметров прокатных двутавров и уголков.

## ***ЛИТЕРАТУРА:***

1. **Москаев Н.С., Пронсин Я.А., Корсун Н.Д., Парлашкевич В.С.** «Металлические конструкции включая свакру» / Под ред. проф., к.т.н. В.С. Парлашкевич, - Глава 11 «Фермы», Учеб. пособие. - М.: «АСВ», 2016. - С. 280- 319 с.
2. **Трофимов В. И., Каминский А. М.** Глава 3 «Ферменные конструкции» // «Лёгкие металлические конструкции зданий и сооружений». Учеб. пособие. - М.: «АСВ», 2002. - С. 89-121. - 576 с. - 3000 экз. - ISBN 5-93093-122-4.
3. **Лебедева Н.В.** «Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции»
4. **Умнова О.В., Евдокимцев О.В.** «Стальные балочные клетки производственных зданий» 2013-10с
5. **Сетков В.И., Сербии Е.П.** Строительные конструкции: Учебник. — 2-е изд., доп. и испр. — М.: ИНФРА-М, 2005. — 448 с.
6. **Кудрявцев СВ.** Несущая способность балок с гофрированной стенкой, ослабленной круговым отверстием: автореф. дис. канд. техн. наук. – Екатеринбург: УрФУ, 2011.22 с.
7. **Кудишин Ю. И., Беленя Е. И., Игнатьева В. С.** и др. Раздел 1. Глава 9 «Фермы» // «Металлические конструкции». Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Под ред. Кудишина Ю. И. - 11 изд., стер.. - М.: Издательский центр «Академия», 2008. - С. 261-301. - 688 с. - 3 000 экз. - ISBN 978-5-7695-5413-1.
8. **Жабинский А.Н., Вербицкий А.Г., Кеда А.Н.** «Металлические конструкции. Расчет и конструирование прокатных и сварных балок» 2013.- 130с.
9. **Дюсебаева Н., Маусымбек Ш.** «Сравнительный анализ работы ферм различного очертания и видами соединения с использованием современных компьютерных расчетных комплексов», Научная работа.
10. **РДС РК 5.04-24-2006** «Сортамент сварных двутавровых профилей обычного типа с гофрированными стенками».