

**ЧЕРНЫХ-РАШЕВСКИЙ И.А.**¹КГУСТА им. Н. Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика**CHERNYKH-RASHEVSKY I.A.**¹KSUCTA n.a. N. Isanov, Bishkek, Kyrgyz Republicioann988@mail.ru**ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ 12-МЕТРОВОЙ ФЕРМЫ ИЗ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ****EVALUATION OF THE BEARING CAPACITY OF A 12-METER TRUSS FROM LIGHT STEEL THIN-WALL PROFILES**

Макаланын максаты - муздак кезинде ийилген 12 м узундуктагы профиль формаларынын максималдуу көтөрүү жөндөмдүүлүгүн, деформациясын жана максималдуу ийилиштерин, алардын көтөрүү жөндөмдүүлүгү жана ийилиши өзгөрүп жатканын. Аныктоо. Статикалык эсептөө үчүн SolidWorks Simulation программасы колдонулган. Бардык максималдуу маанилер аныкталган. Натыйжада профилдин секциясын өзгөртүү менен болоттун жогорку сорту менен жүк көтөрүү кубаттуулугу 2.4 эсеге көбөйө тургандыгы көрсөтүлдү. Алынган натыйжалар иштелип чыккан форма көтөрүмдүүлүктү жана деформацияга чыдамдуулукту камсыз кылаарын көрсөтүп турат.

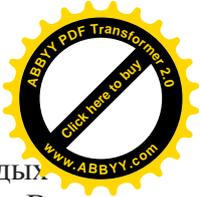
Өзөк сөздөр: жеңил болоттон жасалган жука дубалдуу конструкциялар (ЖБЖК), муздак кезинде ийилген профилдер, цинктелген болот, көтөрүү жөндөмдүүлүгү, бирдей бөлүштүрүлгөн жүк, коопсуздук фактору, четтөө, жылышуу

Целью статьи является определение максимальной несущей способности, деформации и максимальные прогибы стержней из холодногнутой профилей фермы длиной 12 м. У фермы были изменения, менялись профили раскосов, а также менялась марка стали, после чего было видно, что меняется их несущая способность и прогиб. Для статического расчета использовалась программа SolidWorks Simulation. Были выявлены все максимальные значения. В результате было показано, что при изменении сечения профиля и наивысшей марки стали несущая способность увеличивается в 2.4 раза, а прогиб при одной нагрузке имеет разницу 1 мм. Полученные результаты показывают, что разработанная форма обеспечивает несущую способность и деформативность.

Ключевые слова: легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК), холодногнутые профили, оцинкованная сталь, несущая способность, равномерно-распределенная нагрузка, коэффициент запаса прочности, прогиб, перемещение.

The purpose of the article is to determine the maximum bearing capacity, deformations and maximum deflections of rods from cold-formed truss profiles 12 m long. The truss had changes, the bracing profiles changed, and the steel grade changed, after which it was clear that their bearing capacity and deflection were changing. For static calculation, the SolidWorks Simulation program was used. All maximum values were identified. As a result, it was shown that with a change in the section of the profile and the highest grade of steel, the bearing capacity increases by 2.4 times, and the deflection at one load has a difference of 1 mm. The results obtained show that the developed truss provides the bearing capacity and deformability.

Key words: light steel thin-walled structures (LSTS), cold-bent profiles, galvanized steel, bearing capacity, uniformly distributed load, safety factor, deflection, moving.



Введение. Лёгкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК) – один из молодых видов строительных конструкций, который зародился в 50-х годах XX-века в Канаде. В Европе данная конструкция появилась в 60-х годах и в настоящее время пользуется большим спросом в Скандинавии, а также быстро развивается в Европе, Восточной Азии, Австралии и Океании. В Кыргызстане ЛСТК появились в 2000-х годах. В настоящее время в нашей стране существует более десятка фирм, которые занимаются данной индустриализацией. Наиболее распространенными типами сечений ЛСТК для несущих конструкций являются С-, Z- и Σ -образные сечения. В среднем толщина указанных профилей варьируется в пределах 0.7–3.0 мм, высота 150–300 мм (для стали С345). Однако, толщина профилей может достигать 4.0 мм, а высота 400 мм (для стали С255). Из данного материала изготавливаются холодногнутые профили различной формы, что позволяет проектировать конструкции различной формы (*рис. 1а*), а также из данных профилей делают составные сечения, которые увеличивают свою несущую способность (*рис. 1б*). Крепление ЛСТК производится между собой различными методами с помощью заклепок, самосверлящих самонарезающих винтов и болтов.

ЛСТК пользуются большим спросом при возведении ограждающих конструкций, надстроек на здания до 2-х этажей, малоэтажного строительства до 3-х этажей, коммерческого и гражданского строительства, большепролетных ферм.

Самой экономичной конструкцией в строительстве по расходу стали является ферма, чему и будет посвящена данная статья. Здесь будет рассмотрена ферма из ЛСТК, которая в несколько раз меньше весом по отношению к ферме из горячекатаных профилей.

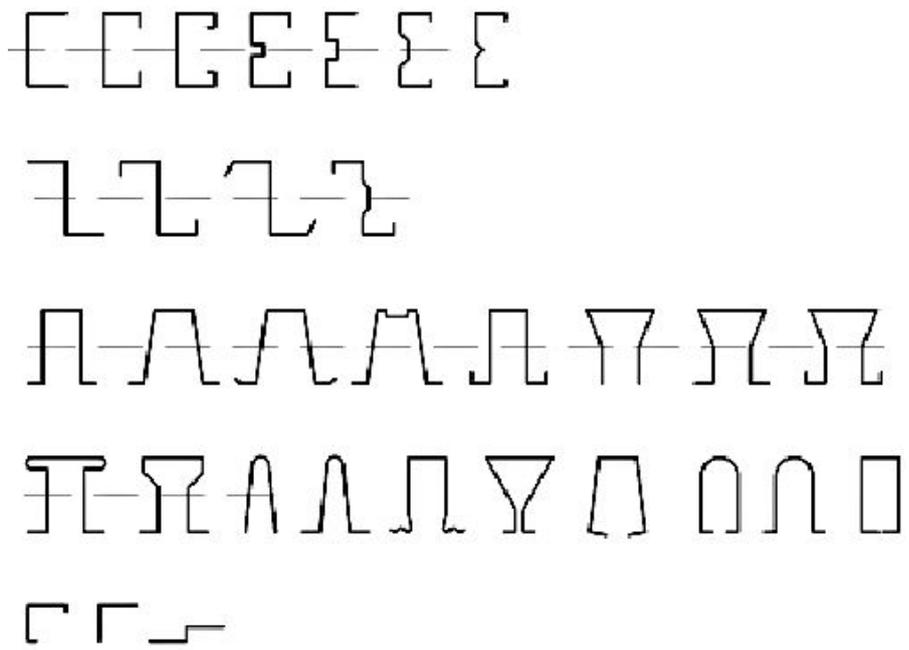


Рис. 1а. Сортамент профилей ЛСТК

Материалы и методы. Металлическая ферма – это жесткая конструкция, которая имеет верхний и нижний пояса, стойки и раскосы. Рассматривается плоская ферма, которая имеет балочную разрезную систему, трапецидальное очертание, треугольную систему решетки с дополнительными стойками. Ферма пролетом 12 м. состоит из 8 панелей со стержнями, которые стыкуются в узлах (*рис. 2а*), и имеет высоты по опорам $H_1=0.8$ м. и $H_2=2$ м. (*рис. 2б*).

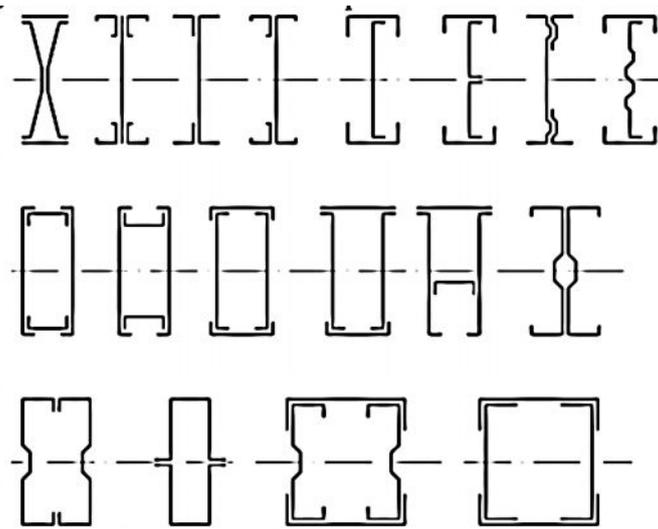


Рис 16. Составные сечения из ЛСТК

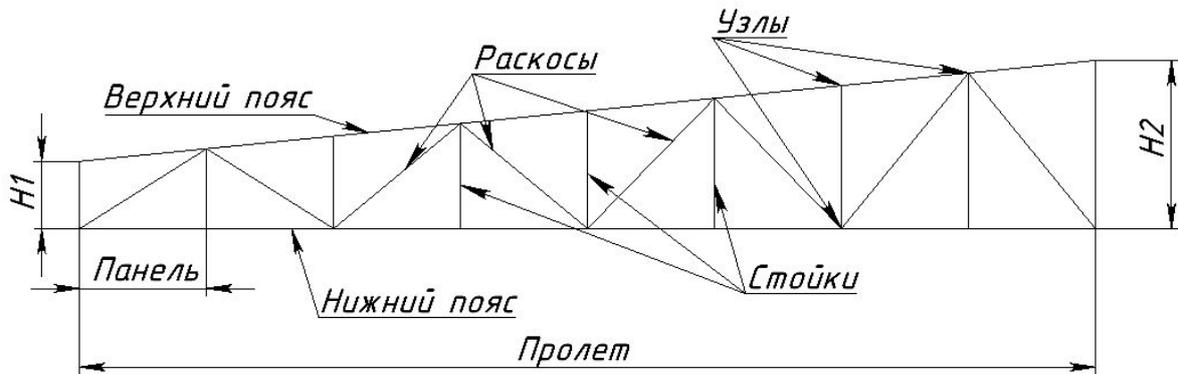


Рис. 2а. Схема фермы

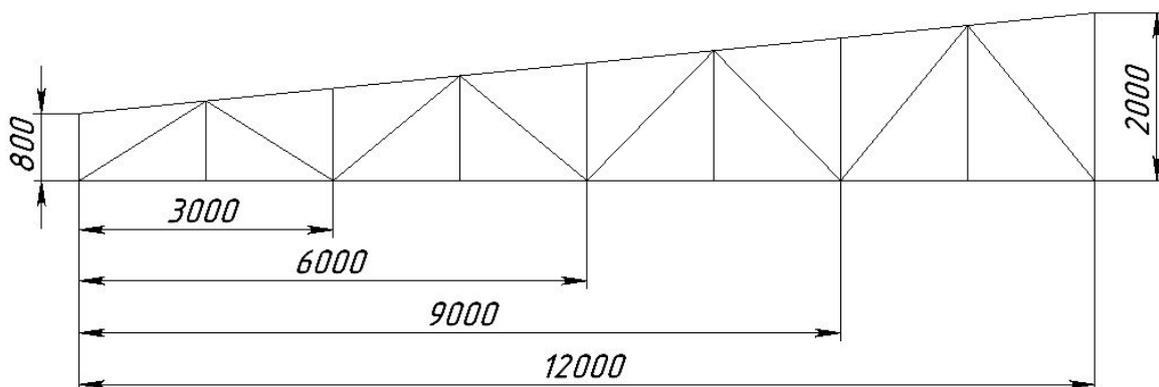
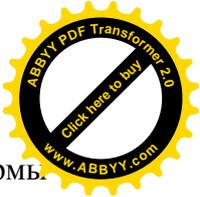


Рис. 2б. Размеры фермы

Трапециадальные фермы в покрытии позволяют устроить жесткий рамный узел, что повышает жесткость здания. Для высоты трапециадальных ферм нет конструктивных



Ограничений, высоту фермы принимают из условия наименьшего веса фермы. Вес фермы складывается из веса поясов и решетки. Вес поясов уменьшается с увеличением высоты фермы, так как усилия в поясах обратно пропорциональны высоте. Вес решетки с увеличением высоты фермы возрастает, так как увеличивается длина раскосов и стоек. Стержни ферм могут иметь разные сечения, но для удобства сопряжения в узлах ширина элементов должна быть одинакова.

Данная ферма выполнена из прямолинейных стержней оцинкованной стали. Стержень фермы состоит из 4 легких стальных тонкостенных холодногнутых профилей (рис. 3а). Все стержни фермы состоят из парных продольных трех ПСУ-образных и одного парного прерывистого П-образного сечений (табл. 1). Сечения элементов указаны в табл. 1, которые крепятся между собой с помощью саморезов диаметром 4 мм (рис. 3б). Расстояние между всеми продольными профилями 148 мм. Соединение стержней в узлах осуществляется с помощью узловых фасонки толщиной 2 мм. Профили и фасонки крепятся между собой болтами М10 (рис. 4). Общий вес фермы составляет 170 кг. Ферма опирается нижним поясом по краям на опоры.

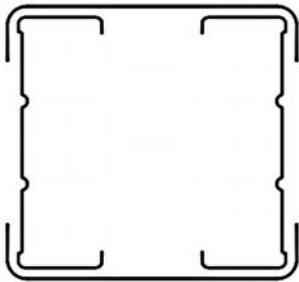


Рис. 3а. Сечение стержня фермы



Рис. 3б. Крепление скобы с фермой на самосверлящих самонарезающих винтах

Таблица 1 - Профили стержней фермы из ЛСТК

№	Обозначение позиции	Эскиз	Сечение
1	Нижний пояс		ПСУ-140-37-1 (C140_37 G350)
2	Верхний пояс		
3	Стойки		ПСУ-90-37-1 (C90_37 G350)
4	Раскосы		ПСУ-70-37-1 (C70_37 G350)

5	Скоба		ПП-150-35-1
---	-------	---	-------------

Для исследования данной фермы была использована программа SolidWorks Simulation Premium. Данная программа позволяет эффективно анализировать нелинейные и динамические нагрузки и композитные материалы в проектах. SolidWorks Simulation Premium включает в себя три дополнительных типа исследований: нелинейное статическое, нелинейное динамическое и линейное динамическое. Ферма рассчитывалась на максимальные допускаяемый прогиб стержня в вертикальном направлении и несущую способность до предела текучести R_y . Ферма была рассчитана равномерно-распределенной нагрузкой с постепенным нагружением до потери устойчивости. Было сделано 4 группы нагружений. Каждые две группы нагружений были наложены на разные марки стали. Предел текучести первой марки стали G350 составляет 350 Н/мм^2 , а второй G550 составляет 550 Н/мм^2 .

Первая и вторая группы нагружений состояла из нагрузок, которые осуществлялись на ферму с раскосами высотой 70 мм и 90 мм с маркой стали G350.

Третья и четвертая группа нагружений состояла из нагрузок, которые осуществлялись на ферму также с раскосами высотой 70 мм и 90 мм, но с маркой стали G550.

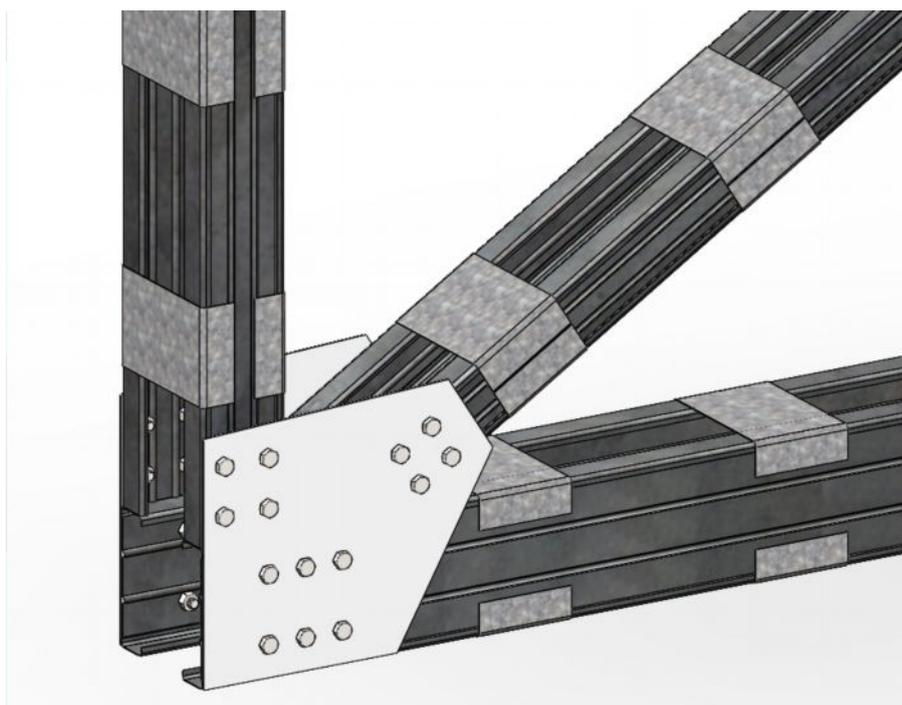


Рис. 4 Узел фермы

Результаты. После каждой группы нагрузок определяются все нужные показания. Нагрузки постепенно увеличиваются на верхнем поясе. 1). До разрешенного максимального прогиба стержня $l/250$. 2). До максимальной несущей способности (предела текучести стали двух марок). Также определялся коэффициент запаса прочности.

Коэффициент запаса прочности определяется по формуле:

$$n = \sigma_r / \sigma, \quad (1)$$



σ_T – предел текучести;

σ – допускаемое напряжение;

$n \geq 1$ – допускаемый запас прочности;

$n < 1$ – потеря запаса прочности.

После всех расчетов были выявлены все необходимые результаты (табл.2), для дальнейшего исследования. Верхний пояс оказался самым прогибаемым стержнем по вертикали (рис. 6). В нижнем поясе тоже был прогиб, но он получился небольшой по отношению к верхнему поясу. При увеличении площади сечения профилей (стержня) раскоса, а также при повышении марки стали, в ферме увеличивается ее несущая способность. Максимальный прогиб стержня по вертикали при длине фермы в 12 м. составляет 48мм. Были получены результаты при каком профиле и при какой марки стали идет максимальный прогиб (табл. 3). Зависимость перемещения Δ (мм) верхнего пояса, от нагрузки F (Н/м), построен тарировочный график (рис. 5).

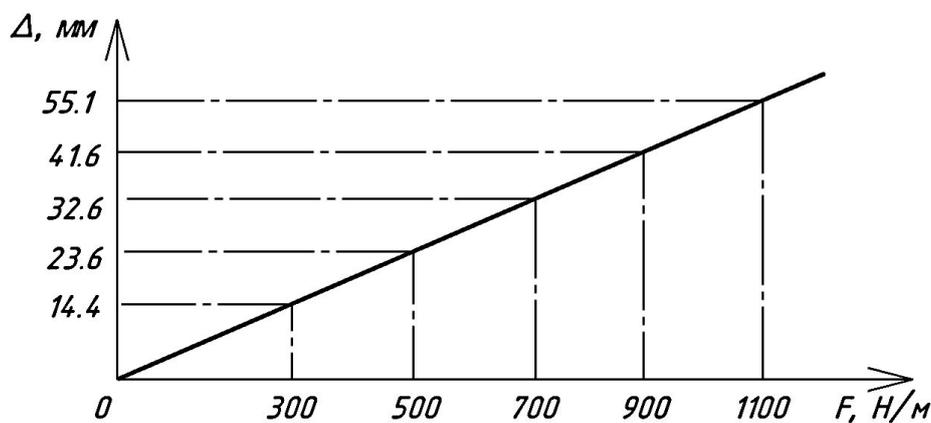
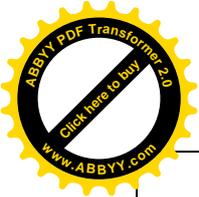


Рис. 5 Тарировочный график (F – нагрузка, Δ – перемещения верхнего пояса)

Самыми напряженными частями фермы являются узлы в средней части верхнего пояса, где производится стык пяти стержней из расчетных соображений (рис. 7). Из полученных всех данных показало, что имея раскос в 70 мм, маркой стали G350 шаг между фермами пролетом 12 м. может достигать 0.85 м., а вот уже при раскосе в 90 мм, маркой стали G550 шаг между этими же фермами достигает 1.25 м.

Таблица 2 - Результаты статического расчета фермы

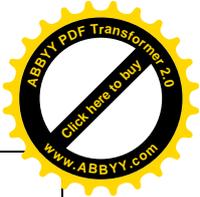
G350	Раскос 70 мм	Результаты	мин	макс	мин	макс	мин	макс	Ед. изм.
		Нагрузка	700		900		1210		Н/м
		Напряжение	0.85	210	1.15	263	1.4	350	МПа
		Перемещение	0.1	-32.6	0.15	-41.6	0.2	-55.1	мм
		Прогиб НП	0	4.8	0	5.9	0	7.6	
		Сила реакции	-916	878	-1172	1122	-1556	1489	Н



G550		Момент	-192.3	422.2	-242.1	539.6	-317	715.9	Н·м
		Запас прочности	1.67	202	1.33	160	1	123	σ_T/σ
	Раскос 90 мм	Результаты	мин	макс	мин	макс	мин	макс	Ед. изм.
		Нагрузка	700		1000		1420		Н/м
		Напряжение	1.1	176	1.35	248	1.7	350	МПа
		Перемещение	0.1	-32.3	0.15	-45.8	0.2	-63.7	мм
		Прогиб НП	0.1	4.5	0.3	6.1	0.4	7.4	
		Сила реакции	-982	958	-1394	1360	-1944	1897	Н
		Момент	-221.3	470.3	-315.7	666.6	-441	928	Н·м
		Запас прочности	1.98	219	1.4	163	1	121	σ_T/σ
		Раскос 70 мм	Результаты	мин	макс	мин	макс	мин	макс
	Нагрузка		1210		1420		2750		Н/м
	Напряжение		1.7	243	2	330	4.4	550	МПа
	Перемещение		0.4	38.2	0.5	44.7	1	88	мм
	Прогиб НП		0	7.3	0	8.5	0	15.7	
	Сила реакции		-1485	1465	-1739	1716	-3413	3368	Н
	Момент		-354	711	-414	832	-809	1631	Н·м
	Запас прочности		2.26	325	1.94	276	1	127	σ_T/σ
	Раскос 90 мм	Результаты	мин	макс	мин	макс	мин	макс	Ед. изм.
Нагрузка		1210		1420		2900		Н/м	
Напряжение		1.3	231	1.41	272	2.9	550	МПа	
Перемещение		0	-37.6	0	-44.3	0	-89	мм	
Прогиб НП		0	6.93	0	8	0	15.5		
Сила реакции		-1475	1459	-1742	1724	-3540	3504	Н	
Момент		-345	699	-406.7	824.8	-822	1673	Н·м	
Запас прочности		2.38	328	2.02	279	1	154	σ_T/σ	

Таблица 3 - Максимальный вертикальный прогиб стержня от нагрузки

Марка стали	Стержень	Нагрузка (Н/м)	Перемещение (мм)
G350	Раскос 70 мм	1020	48
	Раскос 90 мм	1050	



G550	Раскос 70 мм	1500	
	Раскос 90 мм	1540	

Выводы. Из профилей ЛСТК можно делать большепролетные фермы, которые ничем не уступают фермам из толстостенных профилей, которые легкие в изготовлении и не требуют специального оборудования при монтаже, при сборке не нужны высококвалифицированные специалисты, не нуждаются в кранах с тяжелой грузоподъемностью, сборку можно производить прямо на строительной площадке в любое время года, легкие по весу относительно горячекатаных или толстостенных профилей, А также ЛСТК покрыто оцинковкой, что дает большую защиту от коррозии, тем самым не нуждается в покраске и срок службы данного материала 100 лет.

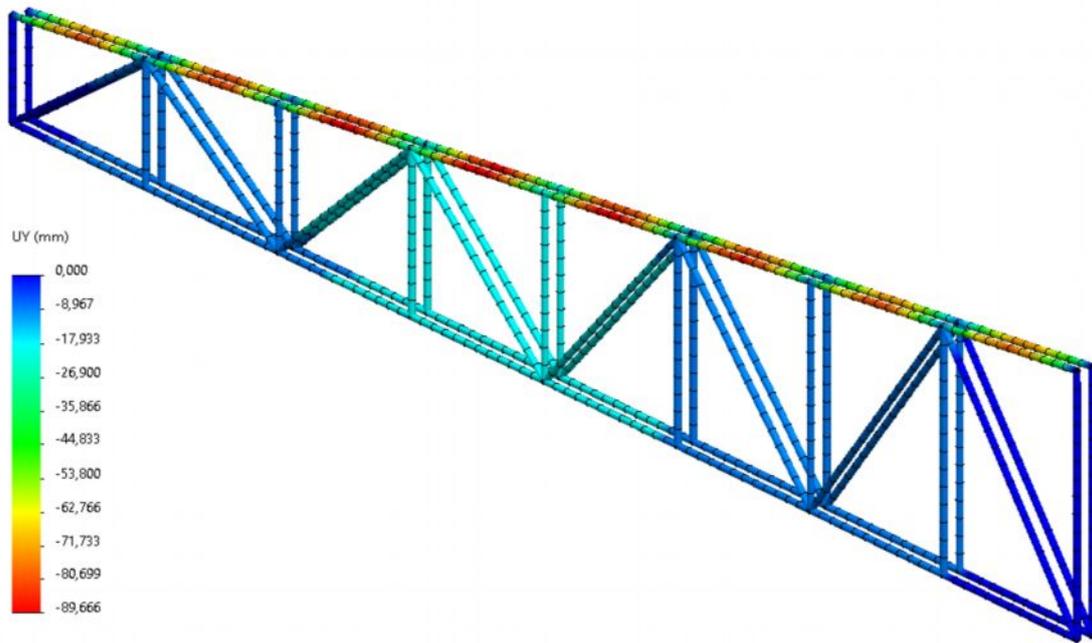


Рис. 6. Максимальное перемещение по вертикали

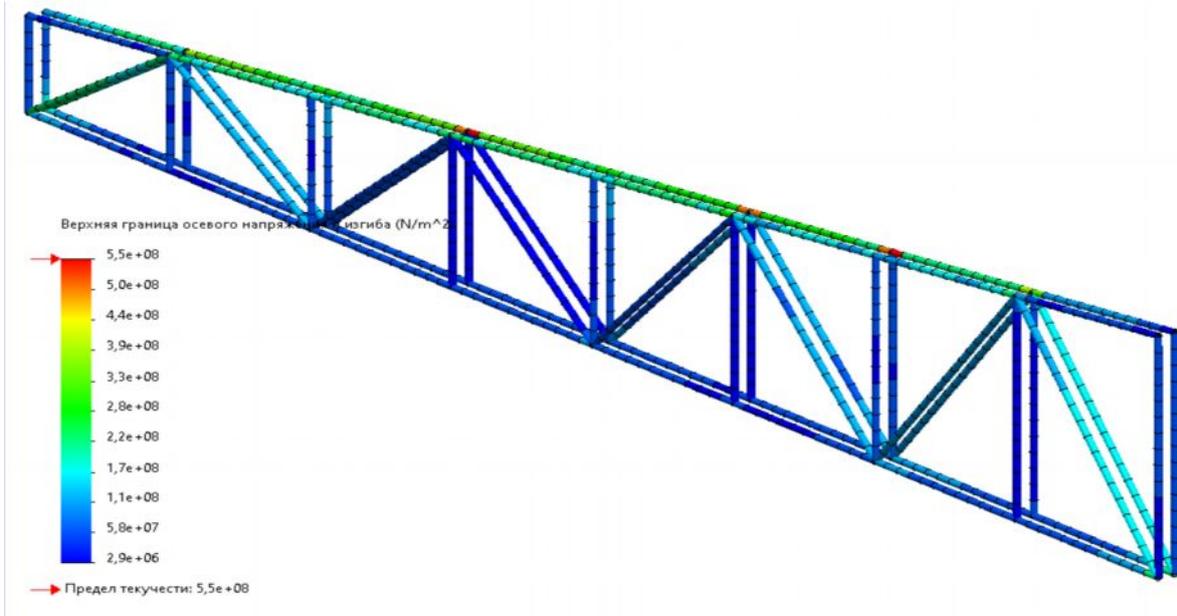


Рис. 7. Максимальное напряжение

Список литературы

1. Пузырев П.И. Челябинск. Исследование напряженно-деформированного состояния стержней и узлов стропильных ферм из легких стальных тонкостенных конструкций [Текст] / П.И. Пузырев. – Челябинск: 2016. – 96 с.
2. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП П-23-81*. М.: «ЦПП», 2011.
3. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция. СНиП 2.01.07-85*. М.: Минрегион России, 2011.
4. <https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-simulation>.