

УДК 629.463.6.004.18

А. В. ШИЛОВИЧ, доктор технических наук; А. В. ПИГУНОВ, кандидат технических наук, В. В. ПИГУНОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ МАССЫ ТАРЫ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВАГОНОВ-ПЛАТФОРМ

Представлен анализ конструкций универсальных платформ. Для оценки напряженно-деформированного состояния рамы платформы модели 13-401 разработана ее конечно-элементная модель. Проведенные расчеты позволили установить зоны хребтовой балки с минимальным уровнем напряжений с целью введения вырезов для облегчения конструкции. Расчеты облегченной конструкции подтвердили возможность практического применения предлагаемого решения.

В эксплуатации находятся универсальные вагоны-платформы моделей 13-401, 13-4012, 13-192-01 и др.

Платформа модели 13-401 предназначена для перевозки широкой номенклатуры грузов, не требующих защиты от атмосферных воздействий. Она до сих пор успешно эксплуатируется, в том числе и с продленным сроком службы, хотя спроектирована была в 60-х годах двадцатого века.

Основой металлоконструкции платформы является сварная металлическая рама, на которой крепится деревянный настил пола. К концевым и боковым продольным балкам шарнирно крепятся торцевые и продольные откидные борта. Концевые балки – П-образного поперечного сечения из металла толщиной 10 мм. К ним приварены по четыре кронштейна треугольной формы, для поддержания в горизонтальном положении торцевых бортов в откинутаом положении. Шкворневые балки – замкнутого коробчатого сечения переменной высоты по длине. Верхние и нижние листы выполнены из стали толщиной 10 мм, вертикальные – толщиной 8 мм. Для усиления конструкции рамы в средней части установлены две основные поперечные балки высотой 500 мм. Они выполнены из сварных двутавров с толщиной стенки и горизонтальных полок 5 и 7 мм соответственно. На участке между шкворневыми балками дополнительно устанавливаются четыре поперечные балки из двутавра № 10. Над ними, для поддержания настила пола, предусмотрены четыре продольные балки, также выполненные из двутавра № 10.

Наиболее металлоемкими и прочными являются продольные балки рамы – хребтовая и две боковые. Хребтовая балка выполнена из двух двутавров № 60 в средней части на длине 4,24 м, высота которых уменьшается к консольным частям рамы. Аналогичную форму имеют и боковые балки рамы.

Более поздней конструкцией была платформа модели 13-4012. Основное отличие от платформы модели 13-401 заключалось в наличии комбинированного настила пола (металлического в средней части и деревянного – по краям), что повлияло на конструктивные изменения, внесенные в раму. Для его установки верхние полки хребтовой балки расположены выше, по сравнению с боковыми продольными, на высоту деревянного настила. Хребтовая балка состоит из двух двутавров № 70 переменной высоты по длине, а боковые продольные – из двутавров № 30 постоянной высоты.

Наиболее современной конструкцией универсальной платформы является модель 13-192-01, которая разра-

ботана в ООО «Уральское конструкторское бюро вагоностроения» (УКБВ) в 2016 году [1].

Рама (рисунок 1) образована хребтовой балкой 1, двумя шкворневыми 2, двумя концевыми 3, двумя промежуточными поперечными 4, средней поперечной 5, двумя боковыми 6, вспомогательными (подпорными) 7 и 8 балками.

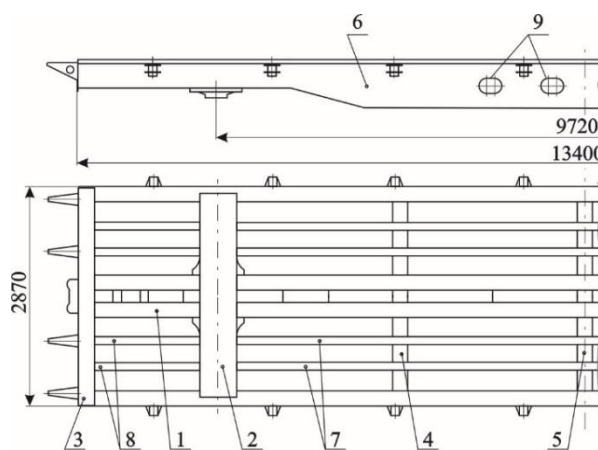


Рисунок 1 – Рама универсальной платформы модели 13-192-01

Хребтовая и боковые балки переменного по длине сечения выполнены из двутавров № 60, причем первая – из двух двутавров.

К вертикальной стенке боковой балки приварены скобы лесных стоек и кронштейны для крепления продольных бортов (державки петель), к нижним полкам – кронштейны тяговые, а к верхней полке по наружному краю – швеллер, защищающий настил пола от повреждений при погрузке самоходной техники. Для облегчения конструкции на вертикальной стенке боковой балки в средней части выполнены четыре отверстия овальной формы 9.

Техническая характеристика приведенных выше платформ представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика платформ

Показатель	Модели платформ		
	13-401	13-4012	13-192-01
Грузоподъемность, т	70	71	72
Масса тары, т	21	21,4	21,5
Площадь пола, м ²	36,8	36,8	38,4
База вагона, м	9,72	9,72	9,72
Длина рамы, м	13,4	13,4	13,4
Ширина, м	2,77	2,77	2,87
Коэффициент тары	0,30	0,30	0,30

Окончание таблицы 1

Показатель	Модели платформ		
	13-401	13-4012	13-192-01
Удельная площадь, м ² /т	0,52	0,518	0,53
Нагрузка от колесной пары на рельсы, кН	228	228	230,5

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, грузоподъемность платформ с каждой новой моделью возрастает на 1 тонну, а масса тары увеличивается на 0,5 т. При этом коэффициент тары для всех конструкций остался практически одинаковым. У платформы модели 13-192-01 незначительно увеличилась масса (на 0,1 т) по сравнению с предшествующей моделью вагона, хотя она имеет большую ширину. Это достигнуто за счет конструктивных изменений, коснувшихся основных поперечных и вспомогательных продольных балок рамы, а также предусмотренных в средней части боковых продольных балок вырезов овальной формы в количестве четырех штук на сторону.

Одним из путей повышения эффективности использования вагонов является снижение массы тары. Для этого необходимо детальное исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) металлоконструкции рамы. В качестве объекта исследования была принята рама универсальной платформы модели 13-401, хорошо зарекомендовавшая себя в течение длительного срока эксплуатации.

Для оценки НДС на основе конструкторской документации была разработана расчетная конечно-элементная модель металлоконструкции рамы платформы. Она составлена для рамы в целом и позволяет проводить расчеты для любого сочетания эксплуатационных нагрузок. Для построения модели использовались пластинчатые трех- и четырехугольные конечные элементы. Кинематические граничные условия включают в себя ограничение степеней свободы в местах установки упоров автосцепного устройства и пятников (рисунок 2).

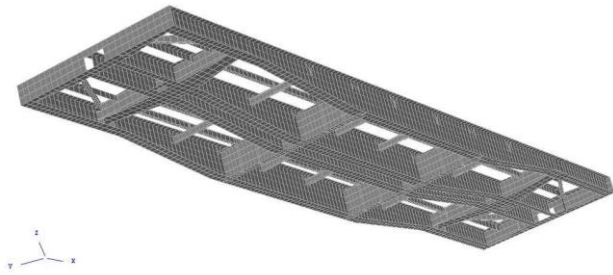


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель рамы платформы

Расчеты производились на совместное действие вертикальных и продольных нагрузок (сжимающей (2,5 МН) и растягивающей 2,0 МН)) [2]. Вертикальная нагрузка соответствовала трем вариантам загрузки платформы и принималась равномерно распределенной: по длине продольных балок (при массе груза 72 т), посередине боковых балок на длине 3 м (при массе груза 45 т) и 4,3 м (при массе груза 60 т). Максимальные значения расчетных напряжений по конструктивным группам металлоконструкции рамы для трех вариантов приложения вертикальной нагрузки приведены в таблице 2.

Анализ результатов, приведенных в таблице 2, показывает, что в большинстве элементов конструкции расчетные напряжения не превышают 200 МПа. В поперечных элементах рамы (шкворневой и основной поперечных балках), при действии сжимающей нагрузки наблюдается максимальный уровень напряжений, который превышает 200 МПа. Напряжения в элементах хребтовой и боковых балок рамы ниже. Максимальная величина для хребтовой балки 193 МПа, а для боковых – 170 МПа. Эти элементы конструкции наиболее материалоемкие и вносят значительный вклад в формирование массы рамы вагона. Поэтому целесообразно привести более детальный анализ распределения напряжений в средней части этих балок.

Таблица 2 – Максимальные значения напряжений по конструктивным группам рамы типовой конструкции

Конструктивная группа	Варианты нагружения					
	1 (72 т)		2 (45 т)		3 (60 т)	
	растяжение	сжатие	растяжение	сжатие	растяжение	сжатие
Концевая балка	159	148	138	119	138	119
Хребтовая балка:						
– нижняя полка	138	188	127	146	143	146
– стенка	170	162	151	159	151	170
верхняя полка	125	183	101	180	100	193
Шкворневая балка:						
– вертикальные листы	80	130	69	106	69	114
– горизонтальные листы	154	252	114	201	122	209
Основная поперечная балка	170	82	239	159	289	207
Боковая балка:						
– верхняя полка	56	101	77	159	93	170
– нижняя полка	58	69	106	130	125	146
стенка	50	90	85	125	101	135

При действии растягивающей нагрузки наибольший уровень напряжений в средней части хребтовой и боковых балок рамы наблюдается в нижней горизонтальной полке двутавра и примыкающему к нему участку стенки. По мере отдаления от нижней горизонтальной полки уровень напряжений снижается. При действии сжимающей нагрузки наблюдается противоположная картина. Наибольшей величины напряжения достигают в верхней горизонтальной полке двутавра и уменьшаются по мере отдаления от нее к нижней части двутавра. Отсюда можно сделать вывод, что в средней части стенок двутавра по высоте сечения наблюдается наименьший уровень напряжений при действии как сжимающей, так и растягивающей продольной силы.

Анализ конструкций отечественных и зарубежных производителей указывает на то, что снижения массы платформы возможно достичь путем удаления «лишнего» металла, т. е. введением вырезов в местах балок с наименьшим уровнем напряжений. Форма и размер вы-

реза во многом обусловлены конструктивными особенностями рамы.

Заслуживает внимания европейский проект «TransANT». Для его реализации было разработано семейство платформ с длиной рамы от 33 до 70 футов. Рама собирается из трех частей: двух концевых и средней части. Концевые части унифицированной конструкции для всех платформ, а средняя часть, определяющая конечную длину рамы, отличается количеством поперечных балок, а также формой и количеством вырезов в вертикальных листах хребтовой балки. Причем их форма и расположение радикально отличаются от привычных форм (треугольник, круг, овал и т. п.) (рисунок 3) [3].

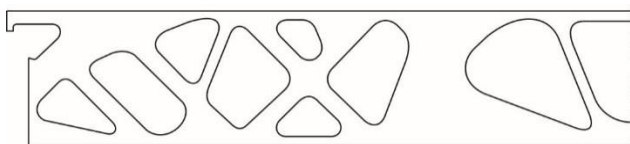


Рисунок 3 – Форма и расположение вырезов в средней части хребтовой балки платформы проекта «TransANT»

Как отмечалось выше, платформа разработки УКБВ снабжена вырезами в боковых балках рамы. Поэтому акцент дальнейших исследований был смещен на хребтовую балку.

Для хребтовой балки платформы модели 13-401 предлагается в средней части рамы на участке между основными поперечными балками 1 ввести треугольные вырезы со скругленными углами, которые образуют ферму с вертикальными стойками 2 и раскосами 3. Стойки необходимы для установки вспомогательных поперечных балок 4, поддерживающих деревянный настил пола (рисунок 4, а).

Принятые формы вырезов были внесены в расчетную модель и с их учетом проводились дальнейшие прочностные расчеты. Анализ их результатов позволил установить, что наибольший уровень напряжений наблюдается у раскосов, а у стоек он минимальный и составляет от 67 до 87 МПа в зависимости от сочетания расчетных нагрузок. Исходя из этого открывается возможность отказа от части стоек фермы. В результате мы получаем форму вырезов, приведенных на рисунке 4, б.

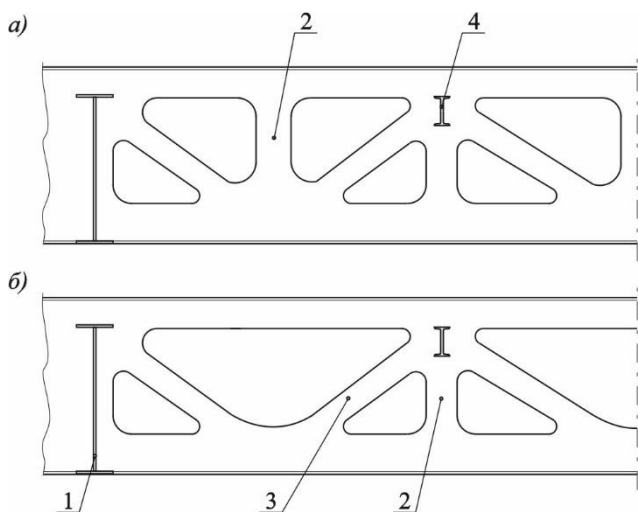


Рисунок 4 – Вырезы вертикальной стойки двутавра хребтовой балки в средней части

С учетом внесенных изменений была проведена серия прочностных расчетов. Их результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Максимальные значения напряжений по конструктивным группам рам с вырезами

Конструктивная группа	Варианты нагружения					
	1 (72 т)		2 (45 т)		3 (60 т)	
	растяжение	сжатие	растяжение	сжатие	растяжение	сжатие
Концевая балка	165	120	158	121	162	121
Хребтовая балка:						
– нижняя полка	140	257	146	143	171	146
– стенка	177	197	217	230	255	245
– верхняя полка	127	197	115	221	115	242
Шкворневая балка:						
– вертикальные листы	87	117	84	112	87	127
– горизонтальные листы	168	231	137	211	143	227
Основная поперечная балка	214	74	298	149	305	205
Боковая балка:						
– верхняя полка	59	94	84	162	103	180
– нижняя полка	65	66	121	130	143	152
– стенка	55	83	96	127	115	143

Данные, приведенные в таблице 3, показывают, что максимальные расчетные напряжения по всем конструктивным группам и при всех сочетаниях расчетных нагрузок не превышают допустимых.

Более подробный анализ показывает, что в сравнении с первоначальной конструкцией хребтовой балки без вырезов величина напряжений возросла в большинстве конструктивных групп, хотя по некоторым наблюдается их незначительное снижение.

При воздействии на раму равномерно распределенной и продольной растягивающей нагрузок (первый вариант нагружения) в элементах боковой, хребтовой, шкворневой и концевой балок наблюдается незначительный рост уровня расчетных напряжений. В основной поперечной балке он возрос с 170 до 214 МПа. От воздействия сжимающей нагрузки по всем элементам конструкции наблюдается снижение уровня напряжений в диапазоне от 3 до 28 МПа. Только в стенке двутавра хребтовой балки в зоне введенных вырезов напряжения возросли на 95 МПа и составили 257 МПа.

Для второго варианта нагружения, учитывающего совместное действия продольной растягивающей и вертикальной нагрузок (45 тонн) уровень напряжений возрос во всех конструктивных группах рамы. В частности, в стенке двутавра хребтовой балки и составил 217 МПа (возрос на 66 МПа). При действии продольной сжимающей нагрузки уровень напряжений в боковой продольной балке практически не изменился, а по остальным конструктивным группам возрос. Максимально величина напряжений возросла в вертикальной стойке хребтовой балки с 151 до 217 МПа.

При приложении к раме увеличенной вертикальной нагрузки (третий вариант нагружения) и растягивающей наблюдается рост уровня расчетных напряжений по всем конструктивным группам металлоконструкции рамы. Наибольший рост с 151 до 255 МПа – в стенке

двутавра хребтовой балки. В нижних и верхних полках двутавра напряжения увеличились на 28 и 13 МПа соответственно. От воздействия этой же вертикальной нагрузки совместно с сжимающей уровень напряжений больше всего возрос в стенке двутавра хребтовой балки на 75 МПа и составил 245 МПа. В верхней полке этой же балки также наблюдается рост с 194 до 242 МПа, в нижней – без изменений. По остальным конструктивным группам напряжения увеличились от 2 до 16 МПа.

По результатам проведенных исследований можно сформулировать следующие выводы.

1 Анализ конструкций универсальных платформ показал, что для повышения эффективности их использования необходимо снижение массы тары.

2 Снижение массы тары возможно путем поиска рациональных конструктивных решений, основанных на детальном анализе НДС рамы. Одним из путей решения данной проблемы является введение в конструкцию наиболее металлоемких балок рамы вырезов. Для платформы это хребтовая и боковые балки в средней части вагона.

3 Форма и размеры вырезов были уточнены в процессе прочностных расчетов. Изначально предлагалось расположение вырезов, которое образует ферму с раскосами и стойками. Анализ уровня напряжений элементов фермы показал, что в стойках уровень напряжений минимальный. Поэтому в зонах, где не предусмотрена

установка поперечных вспомогательных балок, они были удалены.

4 Прочностные расчеты рамы с учетом введенных конструктивных изменений показали, что уровень напряжений возрос в верхнем поясе стенки двутавра хребтовой балки. В большинстве случаев – в углах введенных вырезов, при этом значения полученных расчетных напряжений не превышают допустимых.

На наш взгляд, целесообразно в дальнейшем изменить форму введенных вырезов с целью снижения уровня напряжений, отходя от привычных форм с акцентом на применение в качестве образующих кривых второго порядка.

Список литературы

1 **Пигунов, В. В.** Конструкция, теория и расчет вагонов : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2 / В. В. Пигунов, А. В. Пигунов. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 466 с.

2 ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2016–07–01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 54 с.

3 FEMFAT User Meeting 2019 – Optimization and validation of a new freight car family., Austria, 08–09 May. 2019 / Department Product Engineering Montanuniversität Leoben. – Steyr : Department Product Engineering, 2019. – 23 p.

Получено 31.10.2022

A. V. Shilovich, A. V. Pihunou, V. V. Pihunou. Construction solutions to reduce the tare weight of universal cars-platform.

The analysis of the structures of railway platforms was carried out. To assess the stress-strain state of the platform frame model 13-401, its finite element model was developed. The performed calculations made it possible to establish zones of the main beam with a minimum level of stress in order to introduce cutouts to facilitate the structure. Lightweight design calculations confirmed the possibility of practical application of the proposed solution.