

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Подвижной состав железных дорог

УДК [UDC] 625.03

DOI 10.17816/transsyst20206270-84

© П. С. Троицкий

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

ОБОСНОВАНИЕ СНИЖЕНИЯ МАССЫ РАМЫ ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ КОНТЕЙНЕРОВ В МОДУЛЬНЫХ ГРУЗОВЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ

Введение: В статье описано обоснование снижения металлоемкости вагонов-платформ модульного грузового электропоезда (МГЭП) за счет распределения тяговой мощности по составу и уменьшения внутренних кинетических сил в поезде. Проведен расчет объемной модели рамы вагона при действии веса контейнеров и квазистатической нагрузки, сделан анализ распределения эквивалентных напряжений. Рассмотрены эффекты от внедрения данных видов вагонов в модульные грузовые электропоезда.

Железнодорожный поезд локомотивной тяги это сложная механическая система, в которой протекают динамические процессы, обусловленные силой тяги локомотивов, переломами профиля и плана пути, торможением и отпуском тормозов, различным темпом изменения давления в тормозной магистрали, неодинаковым сопротивлением движению локомотиву и вагонам [1]. При движении МГЭП образуется значительно меньшее количество внутренних кинетических сил, позволяющих снизить предельные нагрузки на автосцепные устройства и рамы вагонов, обеспечить перевозку большего количества грузов при равной тяговой мощности за счет уменьшения коэффициента тары поезда. Помимо этого, курсирование МГЭП улучшит управляемость и безопасность проследования поездов, уменьшит эксплуатационные расходы на пропуск поездопотоков за счет снижения энергозатрат на тягу, торможение, снизит время на проведение опробования тормозов, количество вагоно-, локомотиво- и бригадо-часов. Нами прогнозируются значительные (до 7 раз) снижения нагрузок на автосцепные устройства и раму вагонов при соблюдении условия прочности.

Цель: обосновать возможность снижения нагрузок на автосцепное оборудование и металлоконструкцию рамы вагонов-платформ в составе модульных грузовых электропоездов за счет уменьшения продольных сил в автосцепных устройствах благодаря распределению тяговой мощности по составу.

Методы:

- специальные инженерные методы для тяговых расчётов применительно к железнодорожному транспорту;
- инженерно-технические методы расчета и проектирования вагонов-платформ;
- метод конечных элементов;
- системный метод, позволяющий выявить различные прямые и опосредованные связи при анализе подбора конструкций рамы вагонов-платформ.

Результаты: Обосновано снижение нагрузок на автосцепные устройства и несущие рамы вагонов-платформ в МГЭП. Выявлено, что снижение продольных сжимающих нагрузок на автосцепное устройство с 2500 кН у вагона локомотивной тяги до 400 кН у вагона МГЭП позволит облегчить массу металлоконструкции рамы вагона-платформы для перевозки контейнеров и уменьшит тару вагона на 1,6 т, то есть на 7,3 %. Снижение стоимости вагона составит 76,8 тыс. руб. или 3,84 %.

Заключение: Автором предложено обоснование снижения массы тары вагонов-платформ модульного грузового электропоезда, на основании которого возможно уменьшить металлоемкость вагонов и перевозить большее количество груза при равной тяговой мощности в сравнении с поездом локомотивной (сосредоточенной) тяги.

Ключевые слова: железная дорога, моторвагонные грузовые электропоезда, ускоренные грузовые перевозки, проектирование вагонов, расчет конструкций вагонов, распределенная тяга.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Rolling Stock of Railways

© **Pavel S. Troitskiy**

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

(St. Petersburg, Russia)

JUSTIFICATION FOR REDUCING THE WEIGHT OF THE FRAME OF THE PLATFORM CAR FOR TRANSPORTING CONTAINERS IN MODULAR ELECTRIC FREIGHT TRAINS

Background: The article describes the rationale for reducing the metal content of platform cars of a modular electric freight train (MEFT) due to the distribution of traction power across the composition and reducing internal kinetic forces in the train. The calculation of the volumetric model of the car frame under the action of the weight of containers and quasi-static load, the analysis of the distribution of equivalent stresses is made. The effects of introducing these types of wagons into modular electric freight trains are considered.

A railway train of locomotive traction is a complex mechanical system in which dynamic processes occur due to the traction force of locomotives, fractures of the profile and track plan, braking and releasing the brakes, different rates of pressure change in the brake line, and uneven resistance to movement of the locomotive and cars [1]. When driving the MEFT formed a much smaller amount of internal kinetic energy, allowing to reduce the load limit on the hitch and the frame of the wagons to transport more cargo with equal traction power by reducing the coefficient of tare of the train. In addition, running MEFT will improve the handling and safety of trains, reduce operating costs for passing train flows by reducing energy consumption for traction, braking, reduce the time for testing the brakes, the number of car, locomotive and crew hours. We predict significant (up to 7 times) reduction of loads on the coupling devices and the frame of cars, if the strength condition is met.

Aim: To justify the possibility of reducing the loads on the auto-coupling equipment and metal structures of the frame of platform cars as part of modular electric freight trains by reducing the longitudinal forces in the auto-coupling devices due to the distribution of traction power across the composition.

Methods:

- special engineering methods for traction calculations applied to railway transport;
- engineering and technical methods of calculation and design of platform cars;
- finite element method;
- a system method that allows you to identify various direct and indirect relationships in the analysis of the selection of frame structures of platform cars.

Results: We justified reduction of loads on auto-coupling devices and load-bearing frames of platform cars in MEFT. It is revealed that the decrease of axial compressive loads on the automatic coupler device with 2,500 kN in the car locomotive hauling up to 400 kN at the car the IAEG will help to alleviate the weight of the metal frame of the wagon-platform for transportation of containers and reduce packaging of the car is 1.6 t, by 7.3 %. The reduction in the cost of the car will be 76.8 thousand rubles, or 3.84 %.

Conclusions: The author offers a justification for reducing the weight of container cars-platforms of a modular electric freight train, on the basis of which it is possible to reduce the metal content of cars and transport a larger amount of cargo with equal traction power in comparison with a train of locomotive (concentrated) traction.

Keywords: railway, motor-car electric freight trains, accelerated freight transportation, design of wagons, calculation of wagon structures, distributed traction.

ВВЕДЕНИЕ

Масса грузового поезда – один из важнейших показателей мощности транспортной системы, уровня экономического, технического и технологического развития железных дорог [2]. Экстенсивное наращивание массы грузовых поездов неизбежно приводит к дополнительным финансовым и временным затратам, особенно резко увеличивающимися при внедрении тяжеловесного, длинносоставного движения. Освоить необходимые объемы перевозок грузов позволит внедрение вагонов и тяговых средств с пониженным коэффициентом тары. К таковым можно отнести моторвагонные грузовые поезда (МГЭП). За счет распределения тяговой мощности по составу у МГЭП возникают гораздо меньшие внутренние кинетические силы в автосцепках как внутри одного тягового модуля, так и в целом по поезду. Под тяговым модулем понимается сцеп из моторного и допустимого к нему количества прицепных вагонов рассчитанных согласно [3].

При применении МГЭП возможна отмена ограничений на курсирование поездов повышенной массы при температурах наружного воздуха ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4], поскольку за счет уменьшенных нагрузок на автосцепное устройство и раму вагонов могут быть снижены требования к прочности металла. За счет большего количества обмоторенных осей у МГЭП возможно применение электродинамического тормоза в гораздо более широком диапазоне скоростей, так как внутренние кинетические силы значительно ниже. Это позволит улучшить управляемость поездом, отменить ограничения на обращение поездов повышенной массы и длины

на участках с затяжными спусками до 0,012, которое действует для поездов локомотивной тяги [5].

У тяжеловесных поездов локомотивной тяги силы инерции, возникающие при торможении, многократно превышают силы сцепления головного локомотива с железнодорожным полотном. Следовательно, реализация электродинамического торможения особенно с низких скоростей (от 40 км/ч и менее) невозможна, поскольку при таком торможении (особенно если движение происходит в кривой) поезд может потерять продольную устойчивость [6].

АНАЛИЗ

Наибольшие усилия в автосцепках возникают при трогании поезда с места. Нами были произведены сравнительные расчеты напряжений в автосцепках на руководящих подъемах участков Медвежья Гора – Новый Посёлок Октябрьской ж.д. и Кривенковская – Гойтх Северо-Кавказской ж.д. для МГЭП и поездов, ведомых электровозами ЗЭС5К и ЗЭС4К соответственно. Для предупреждения разрыва поездов наибольшая суммарная сила тяги локомотивов, находящихся в голове поезда, при трогании поезда с места определяется исходя из максимально допустимой продольной силы на автосцепке при трогании, равной 950 кН, а наибольшая суммарная сила тяги при разгоне и движении по труднейшему подъему определяется исходя из максимально допустимой продольной силы на автосцепке, равной 1300 кН. Расчеты производились согласно [7].

Таблица 1. Сравнительные тяговые расчеты на участке Медвежья Гора – Новый Посёлок

Наименование	Единицы измерения	ЗЭС5К	МГЭП	Отклонение, раз
Руководящий подъем	тыс.	12,5	12,5	-
Количество тяговых единиц (моторных вагонов/электровозов)	шт.	1	7	-
Масса перевозимого груза	т	3935	3996	0,98
Масса состава (прицепных вагонов)	т	5400	5100	-
Количество прицепных вагонов	шт.	65	62	1,05
Масса прицепных вагонов, приходящихся на 1 тяговую единицу (моторный вагон/электровоз)	т	5400	728,6	7,4
Удельное сопротивление прицепных вагонов при трогании с места на роликовых подшипниках	Н/т	9,9	9,9	-
Общее сопротивление состава/прицепных вагонов модуля при трогании, $W_{сост}$	кН	1179	158	7,4

Таблица 2. Сравнительные тяговые расчеты на участке Кривенковская – Гойтх

Наименование	Единицы измерения	ЗЭС4К	МГЭП	Отклонение, раз
Руководящий подъем	тыс.	18,4	18,4	-
Количество тяговых единиц (моторных вагонов/электровозов)	шт.	1	7	-
Масса перевозимого груза	т	2441	2441	-
Масса состава (прицепных вагонов)	т	3300	3050	-
Количество прицепных вагонов	шт.	40	37	1,08
Масса прицепных вагонов, приходящихся на 1 тяговую единицу (моторный вагон/электровоз)	т	3300	436	7,6
Удельное сопротивление прицепных вагонов при трогании с места на роликовых подшипниках	Н/т	9,8	9,8	-
Общее сопротивление состава/прицепных вагонов модуля при трогании, $W_{сост}$	кН	914	120	7,6

Таким образом, при эксплуатации МГЭП при соблюдении условия прочности возможно уменьшить нагрузку на автосцепное оборудование и металлоконструкцию рамы прицепного вагона-платформы (далее по тексту рамы) более чем в 7 раз, что позволит снизить массу тары поезда.

Проанализируем режим нагружения рамы квазистатической продольной нагрузкой с учетом эксцентриситета в сочетании с действием силы тяжести. В соответствии с «Нормами для расчета и проектирования вагонов, железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [8] для грузовых вагонов, эксплуатируемых на путях общего пользования величина квазистатической сжимающей нагрузки принимается равной 2500 кН. Согласно прогнозируемых условий эксплуатации и необходимому запасу прочности рамы предположим снижение этой величины до 400 кН (в 6,25 раза).

Чтобы оценить возможное уменьшение массы металлоконструкции рамы, рассмотрим схематичную конструкцию рамы. Данная конструкция будет включать в себя стандартные консоли, шкворневые узлы, две боковые балки и хребтовую. Для возможности облегчения исследуем центральную часть рамы, а именно хребтовую и боковые балки между шкворневых узлов, так как именно их конструкция определяется условием прочности. Хребтовая балка состоит из двух профилей двутаврового сечения. Боковые балки также представлены сечением двутавр. Примем, что размеры двутавра хребтовой и боковой балки совпадают.

На Рис. 1 представлена конструкция средней части рамы в сечении.



Рис. 1. Конструкция средней части рамы в сечении

На Рис. 2 представлено сечение двутавра с буквенными обозначениями его геометрических характеристик.

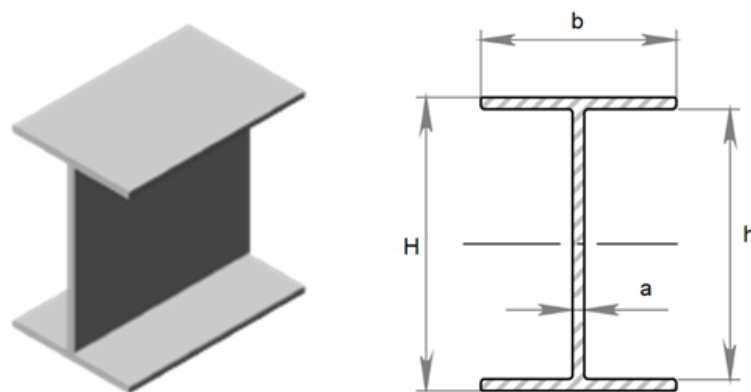


Рис. 2. Сечение двутавра

Инерционные характеристики сечения двутавра приведены ниже. Площадь сечения двутавра определяется по формуле:

$$S_1 = ah + b(H - h) \quad (1)$$

Момент инерции сечения двутавра определяется по формуле:

$$I_1 = \frac{ah^3}{12} + \frac{b}{12}(H^3 - h^3) \quad (2)$$

Обозначения, использованные в формулах (1), (2), приведены на Рис. 2.

Максимальные напряжения σ в конструкции рамы будут складываться из напряжений от продольного усилия σ_N , изгибными напряжениями влиянием эксцентриситета σ_e и изгибными напряжениями от веса контейнеров σ_P .

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_e + \sigma_P \quad (3)$$

Напряжения от продольного усилия определяется по формуле:

$$\sigma_N = \frac{N}{S}, \quad (4)$$

где N – продольная нагрузка,

S – площадь сечения рамы, складывается из площадей сечений боковых и хребтовой балки.

Напряжение от влияния эксцентриситета определяется по формуле:

$$\sigma_e = \frac{e \cdot N}{W}, \quad (5)$$

где e – эксцентриситет сжимающей нагрузки,

W – момент сопротивления рамы.

Напряжение от веса контейнеров определяется по формуле:

$$\sigma_P = \frac{M}{W}, \quad (6)$$

где M – момент от действия веса контейнеров.

Момент сопротивления рамы определяется по формуле:

$$W = \frac{I}{y_{\max}}, \quad (7)$$

где y_{\max} – расстояние до наиболее удаленной точки, для двутавра определяется по формуле:

$$y_{\max} = \frac{H}{2}. \quad (8)$$

I – момент инерции сечения рамы складывается из моментов инерции сечений боковых и хребтовой балки.

Момент от действия веса контейнеров определялся по формуле:

$$M = \frac{P}{4l}, \quad (9)$$

где P – нагрузка от веса контейнеров, приходящаяся в центральную часть рамы. При перевозке двух контейнеров длиной 20 футов и массой 30,48 т, нагрузка будет равняться $P = 299$ кН;

l – база вагона, принимаем равной $l = 7,8$ м.

В качестве исходной конструкции, удовлетворяющей критерию прочности при нагрузках в соответствии с «Нормами...» [8] принимается рама с характеристиками двутавра, приведенными в Табл. 3.

Таблица 3. Характеристики двутавра исходной конструкции рамы.

Обозначение параметра	Значение, м
a	0,19
b	0,012
h	0,566
H	0,6

В качестве облегченной конструкции рассмотрим три варианта конструкции рамы:

- 1) Рама без хребтовой балки.
- 2) Рама без боковых балок.
- 3) Рама с уменьшенными по высоте двутаврами в сечении боковых и хребтовой балок.

Высота двутавра выбрана так, чтобы напряжения в облегченной конструкции оставались на уровне с исходной.

Для оценки уменьшения массы металлоконструкции рамы будем рассматривать центральную часть. Масса этой части определяется по формуле:

$$m = \rho S, \quad (10)$$

где ρ – плотность стали, принимается $= 7800 \text{ кг/м}^3$.

Результаты расчета параметров рассмотренных конструкций приведен в Табл. 4.

Таблица 4. Сравнительные результаты расчета рам вагонов

Наименование параметра	Обозначение параметра	Единицы измерения	Исходный вариант рамы	Облегченный вариант рамы		
				Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
Высота двутавра	H	м	0,6	0,6	0,6	0,32
Количество двутавров	n	—	4	2	2	4
Площадь сечения двутавра	S_1	м^2	0,013	0,013	0,013	0,01
Площадь сечения рамы	S	м^2	0,05	0,03	0,03	0,04
Момент инерции двутавра	I_1	м^4	0,0007	0,0007	0,0007	0,00017
Момент инерции рамы	I	м^4	0,0029	0,0015	0,0015	0,00069

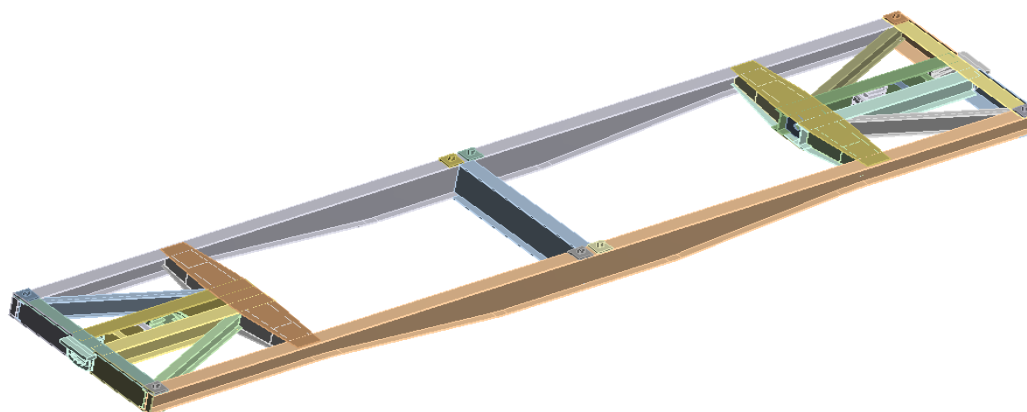
Наименование параметра	Обозначение параметра	Единицы измерения	Исходный вариант рамы	Облегченный вариант рамы		
				Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
Момент сопротивления рамы	W	м ³	0,0097	0,0049	0,0049	0,0043
Продольная нагрузка	N	кН	2500	400	400	400
Эксцентриситет	e	м	0,15	0,15	0,15	0,01
Напряжения от продольного усилия	σ_N	МПа	47,16	15,08	15,08	10,11
Напряжения от эксцентриситета	σ_e	МПа	38,54	12,32	12,32	0,93
Напряжения от веса контейнеров	σ_p	МПа	59,87	119,74	119,74	135,74
Максимальные напряжения	σ	МПа	145,54	147,16	147,16	146,78
Массы металлоконструкции центральной части	m	кг	3225	1612	1613	2407

Как видно из результатов расчетов, наиболее благоприятным с точки зрения облегчения рамы, является вариант выполнения рамы без хребтовой или шкворневых балок. В этом случае напряжения в конструкции остаются на том же уровне, но масса снижается на 1,6 т.

Так как при данной конструкции наибольший вклад по напряжениям вносят нагрузки от веса контейнера, действующие на боковые балки, то в дальнейшем рассмотрим в качестве перспективной конструкцию рамы без хребтовой балки.

На Рис. 3 представлена объемная модель варианта конструкции рамы вагона-платформы, предназначенная для перевозки контейнеров.

а) вид сверху



б) вид сверху

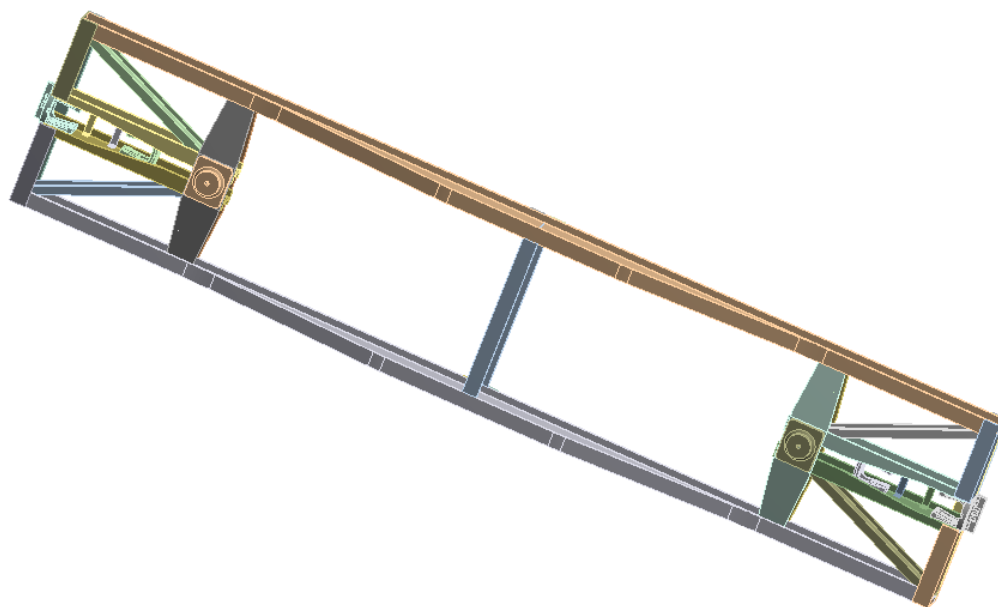


Рис. 3. Объемная модель рамы

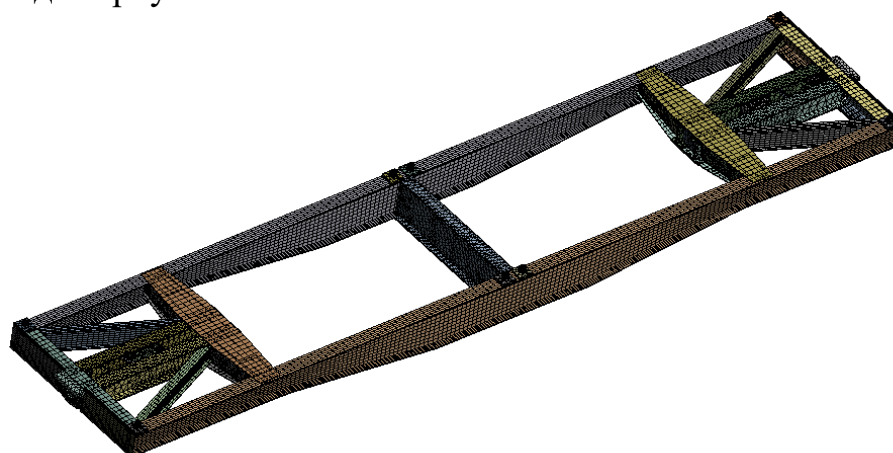
Проведен расчет объемной модели рамы при действии веса контейнеров и квазистатической нагрузки - сжатие силой 400 кН.

Расчет производился методом конечных элементов с использованием конечно-элементного пакета ANSYS Workbench версии 12.1. Элементы вагона имитировались объемными квадратичными конечными элементами с тремя степенями свободы в каждом узле: перемещения по трем направлениям.

Для моделирования материала конструкции выбиралась сталь с модулем упругости равным $2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона 0,3 и плотностью 7800 кг/м^3 . Конечно-элементная модель включает 704809 элементов и 1819842 узлов.

Конечно-элементная модель рамы приведена на Рис. 4.

а) вид сверху



б) вид сверху

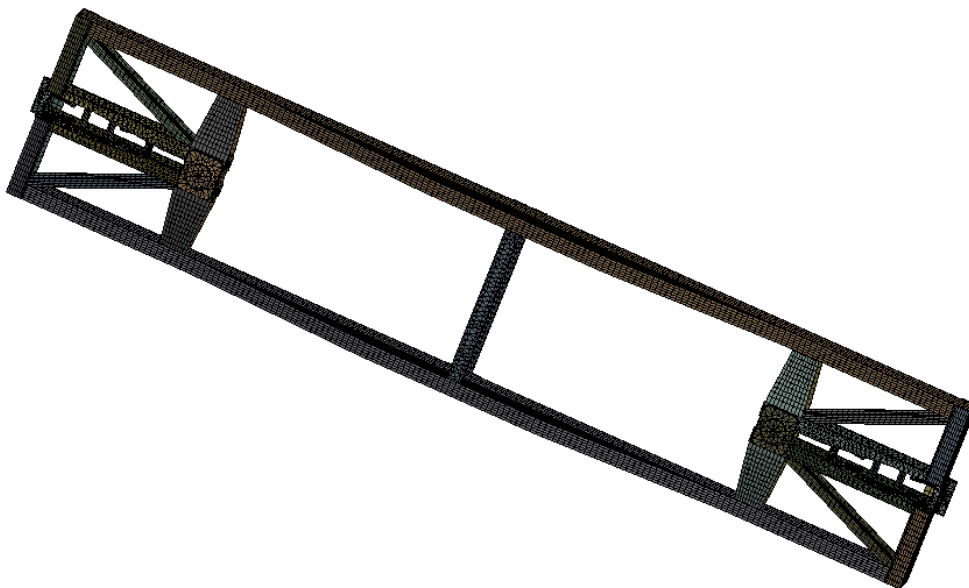


Рис. 4. Конечно-элементная модель рамы

В качестве кинематических граничных условий принимались:

- ограничение вертикальных и поперечных перемещений шкворневого узла;
- симметрия продольных перемещений.

На Рис. 5 приведена схема граничных условий рамы.

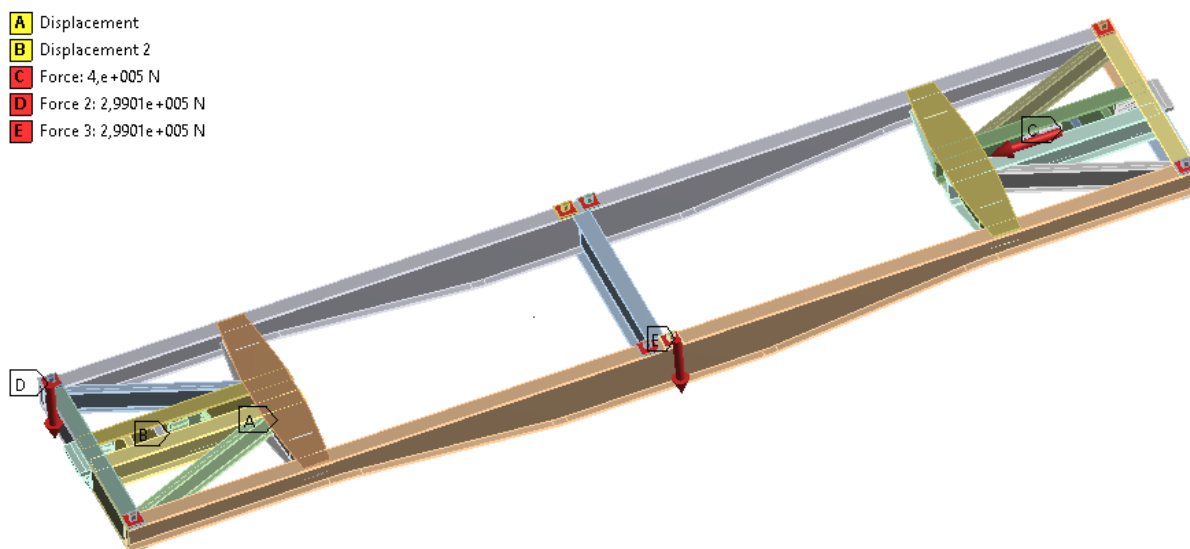
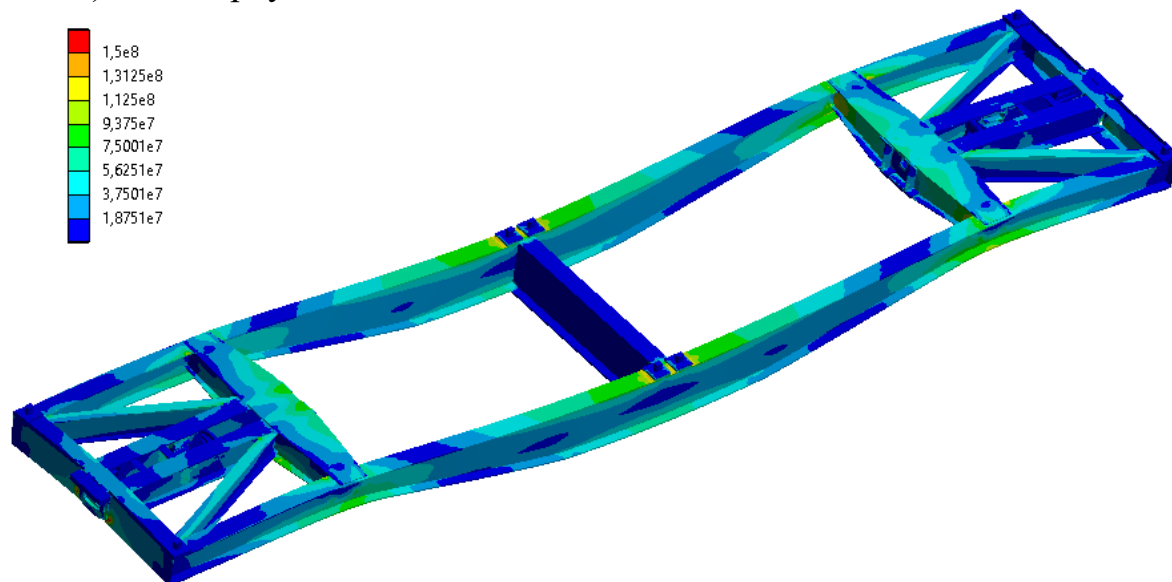


Рис. 5. Схема граничных условий рамы

В результате расчета были получены напряженно-деформированные состояния конструкции рамы. Распределение эквивалентных напряжений в раме приведено на Рис. 6.

Максимальные напряжения в конструкции возникли в центральной части боковых балок в районе фитинговых упоров и составили 133 МПа.

а) вид сверху



б) вид сверху

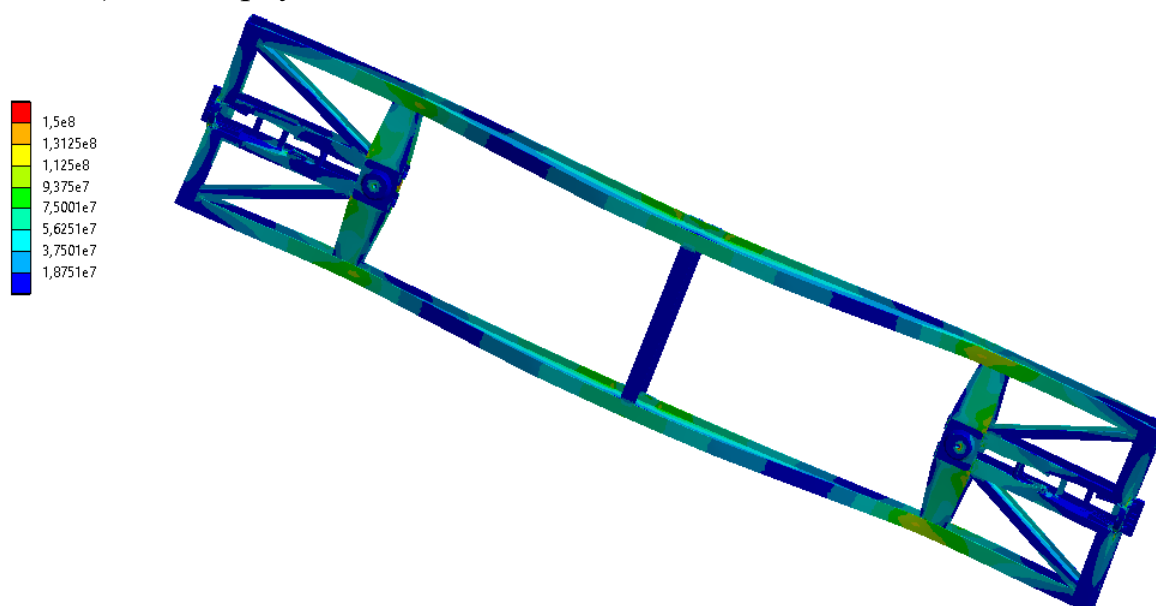


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений в раме, Па

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, условия эксплуатации, при которых продольные сжимающие нагрузки уменьшатся до 400 кН, позволят облегчить массу металлоконструкции рамы вагона-платформы для перевозки контейнеров и уменьшить массу тары вагона на 1,6 т, то есть на 7,3 %. При стоимости

стали марки 09Г2С345/325, применяемой при строительстве вагонов-платформ 48 тыс. руб./т [9] и стоимости вагона-платформы 2 000 тыс. руб. [10], снижение стоимости такого вагона составит 76,8 тыс. руб. или 3,84 %.

Экономия массы тары прицепного вагона позволит при неизменной тяговой мощности МГЭП и количестве моторных вагонов увеличить количество прицепных вагонов в составе МГЭП по сравнению с вариантом без снижения массы тары. Расчет количества прицепных вагонов в МГЭП, снижение массы тары в которых позволяет добавить дополнительный прицепной груженный вагон определяется по формуле:

$$n_{\text{приц}} = M_{\text{бр1приц}}/M_{\text{эк}}, \quad (11)$$

где $M_{\text{бр1приц}}$ – масса-брутто 1 прицепного вагона, т;

$M_{\text{эк}}$ – экономия массы-брутто тары 1 прицепного вагона по сравнению с базовым вариантом (1,6 т).

Если принять, что $M_{\text{бр1приц}} = 82$ т, то $n_{\text{приц}} = 82/1,6 \approx 51$ вагон. Таким образом эффект от применения рассмотренной конструкции вагона-платформы, предполагающей снижения массы тары вагонов и повышения за счет этого массы поезда при неизменной тяговой мощности проявляется при количестве вагонов в составе свыше 51 штуки массой-брутто 82 т каждый.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлена возможность снижения продольных сжимающих нагрузок на автосцепные устройства вагонов модульного грузового электропоезда (МГЭП) до 400 кН, т.е. в 6,25 раза по сравнению с вагоном локомотивной тяги и, как следствие, возможность снижения массы рамы прицепных вагонов на 1,6 т, то есть на 7,3 %. При стоимости стали марки 09Г2С 345/325, применяемой при строительстве данных платформ, 48 тыс. руб./т [9] и стоимости вагона-платформы 2 000 тыс. руб. [10], снижение стоимости вагона составит 76,8 тыс. руб. или 3,84 %.

При этом экономия массы тары прицепного вагона позволяет при неизменной тяговой мощности и количестве моторных вагонов увеличить количество груженных прицепных вагонов в составе МГЭП, если поезд имеет в своем составе более 51 вагона. С учетом привлечения дополнительной массы груза коэффициент тары МГЭП становится меньше, чем у поезда локомотивной тяги. В частности, за счет снижения массы тары в прицепном вагоне МГЭП на участке Медвежья Гора – Новый Поселок удалось при неизменной мощности и количестве моторных вагонов в поезде увеличить количество перевозимого груза на 61 тонну

(2 контейнера). На участке Кривенковская – Гойтх такого эффекта не произошло в силу высоких ограничений по величине руководящего уклона и невозможности повышать количество прицепных вагонов при неизменной тяговой мощности. Данные замечания говорят о более высокой эффективности применения МГЭП на участках смешанного профиля пути, где возможно значительно маневреннее управлять тяговой мощностью поезда.

Рассмотренный в данной статье моторвагонный грузовой поезд эффективно сочетает допустимую грузоподъемность со снижением массы тары вагонов при необходимых условиях прочности, а значит, обеспечит повышение эффективности грузовых перевозок на железных дорогах.

Библиографический список / References

1. Заручейский А.В., Гребенюк П.Т. Экспериментальные исследования процессов движения подвижного состава: науч.тр. ОАО «ВНИИЖТ». – М.: Интекст, 2013. – 80 с. [Zaruchejskij AV, Grebenyuk PT. *Eksperimental'nye issledovaniya processov dvizheniya podvizhnogo sostava: nauch.tr. ОАО «VNIIZhT»*. Moscow: Intekst, 2013. 80 p. (In Russ.)].
2. Сотников Е.А., Шапкин И.Н. Эксплуатационная работа на железных дорогах мира (окончание) // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 2. – 72 с. [Sotnikov EA, Shapkin IN. *Ekspluatacionnaya rabota na zheleznyh dorogah mira (okonchanie)*. *Zheleznodorozhnyj transport*. 2009;2:72 (In Russ.)].
3. Троицкий П.С. Алгоритм подбора моторных и прицепных вагонов в грузовом поезде моторвагонной тяги по критерию энергетической эффективности // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 104–119. [Troickiy PS. *Algoritm podbora motornyh i pricepnyh vagonov v gruzovom poezde motorvagonnoj tyagi po kriteriyu energeticheskoj effektivnosti* // *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(1):104-119 (In Russ.)] doi: 10.17816/transsyst202061104-119
4. Курбасов А.С. Тяжеловесное движение грузовых поездов на российских железных дорогах: за и против // Наука и транспорт. – 2012. – № 3. – С. 22–29. [Kurbasov AS. *Tyazhelovesnoe dvizhenie gruzovyh poezdov na rossijskih zheleznyh dorogah: za i protiv*. *Nauka i transport*. 2012;3:22-29 (In Russ.)].
5. Иноземцев В.Г., Панькин Н.А., Пыров А.Е. Поезда повышенной массы и длины. Технические средства и технология вождения. – М.: Транспорт, 1993. – 176 с. [Inozemcev VG, Pan'kin NA, Pyrov AE. *Poezda povyshennoj massy i dliny. Tekhnicheskie sredstva i tekhnologiya vozhdeniya*. Moscow: Transport, 1993. 176 p. (In Russ.)].
6. Александров И.К. Модульный состав – экономия энергии // Мир транспорта. – 2013. – № 5. – С. 28–37. [Aleksandrov IK. *Modul'nyj sostav – ekonomiya energii* // *Mir transporta*. 2013;5:28-38 (In Russ.)].
7. Правила тяговых расчетов для поездной работы – Утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016. №867р. – 515 с. [Pravila tyagovyh raschetov dlya poezdnoj raboty – Utverzhdeny Rasporyazheniem ОАО «RZHD» ot 12.05.2016. № 867r. 515 p. (In Russ.)].
8. Нормы для расчета и проектирования вагонов, железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.:ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996 г. [Normy dlya rascheta i

- proektirovaniya vagonov, zheleznyh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh), Moscow: GosNIIV-VNIIZhT; 1996. (In Russ.).
9. Прайс-лист «Пульс цен» [Prais-list “Pul's cen” [Internet] (In Russ.)]. Доступно по: https://msk.pulscen.ru/products/list_100_mm_09g2s_50501048. Ссылка активна на: 28.02.2020.
 10. Продажа платформ по выгодным ценам. ООО «ТД «Вагонторг». [Prodazha platform po vygodnym cenam. ООО “TD ”Vagontorg” [Internet]. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.stanok-trading.ru/industrial_equipment_Prodazha_platform_po_vigodnim_tsenam_62757.html Ссылка активна на: 28.02.2020.

Сведения об авторе:

Троицкий Павел Сергеевич, аспирант;
Кафедра «Электрическая тяга»;
eLibrary SPIN: 2510-5734; ORCID: 0000-0002-9110-4387
E-mail: paveltroickiy@mail.ru

Information about the author:

Troitskiy Pavel, postgraduate;
eLibrary SPIN: 2510-5734; ORCID: 0000-0002-9110-4387
E-mail: paveltroickiy@mail.ru

Цитировать:

Троицкий П.С. Обоснование снижения массы рамы вагона-платформы для перевозки контейнеров в модульных грузовых электропоездах // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 2. – С. 70–84. doi: 10.17816/transsyst20206270-84

To cite this article:

Troitskiy PS. Justification for Reducing The Weight of the Frame of the Platform Car for Transporting Containers in Modular Electric Freight Trains. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(2):70-84. doi: 10.17816/transsyst20206270-84