

УДК 620.174.24

Выбор материалов и конструктивных решений раздвижной стены сменного кузова

О. И. Зайнитдинов¹, С. О. Комиченко²

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

² АО «НВЦ Вагоны», Российская Федерация, 190031, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 2

Для цитирования: Зайнитдинов О. И., Комиченко С. О. Выбор материалов и конструктивных решений раздвижной стены сменного кузова // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 2. — С. 210–220. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-2-210-220

Аннотация

Цель: Выбор материалов и разработка конструкции раздвижной стены для сменного кузова с раздвигающимися боковыми стенами и крышей. **Методы:** Разработка и расчет конструкции раздвижной стены сменного кузова выполнялись согласно нескольким технико-нормативным документам с помощью конструкторских программ КОМПАС-3D v18.1 и SOLIDWORKS 2016. Механические испытания образцов проводились на базе ПГУПС в механической лаборатории им. проф. Н. А. Белелюбского. **Результаты:** Разработана конструкция раздвижной двери сменного кузова. Предложены варианты образцов боковых стен сменного кузова с различными материалами и конструкцией. Проведены натурные испытания образцов для определения механических свойств. Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований по определению напряженно-деформированного состояния конструкции образцов раздвижных боковых стен сменного кузова. **Практическая значимость:** Разработанная конструкция раздвижной стены с применением различных материалов дает возможность снизить массу тары новых проектируемых сменных и съемных кузовов с раздвигающимися боковыми стенами и крышей, при этом сохраняя свои прочностные характеристики.

Ключевые слова: Раздвижная дверь, алюминиевые панель, конструкция элемента кузова, алюминиевый составной каркас, профильная труба, обшивка, математическая модель, механические свойства.

Введение

Для повышения эффективности работы железнодорожного транспорта в последние годы рассматривается вопрос создания принципиально нового подвижного состава — вагонов со съемными или сменными кузовами [1–3].

У таких вагонов наиболее дорогая часть — рама с ходовыми частями, автотормозным обо-

рудованием и автосцепками — будет постоянно эксплуатироваться, а сменные кузова будут меняться в зависимости от перевозимого груза [4]. Терминология в названиях пока не устоялась, в данной работе съемным кузовом называется кузов, который может подниматься в груженном состоянии, а сменным — который рассчитан на подъем только в порожнем состоянии. В статье

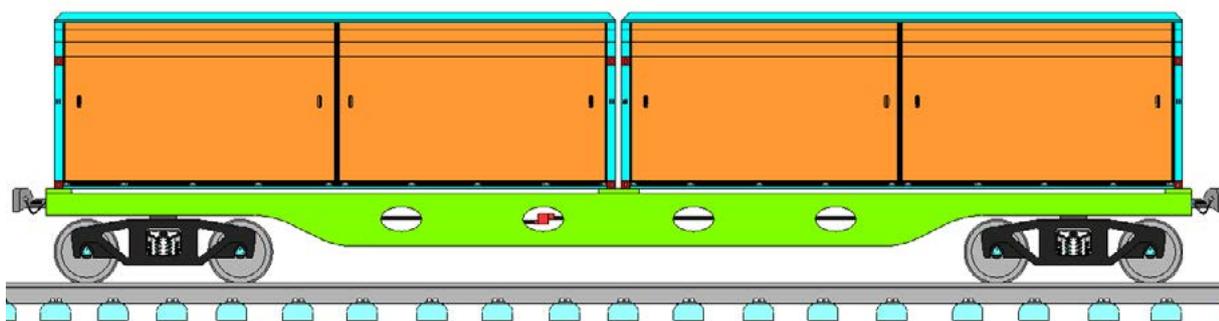


Рис. 1. Общий вид вагона со сменными кузовами крытого типа

рассматриваются вопросы разработки конструкции сменного кузова, аналога крытого вагона. Предлагается, что такой сменный кузов должен эксплуатироваться (загружаться и разгружаться) аналогично крытому вагону на существующих терминалах. Подъем и замена сменного кузова будет осуществляться только при сезонных изменениях в спросе на перевозки в крытых вагонах. При ряде достоинств современные крытые вагоны обладают одним общим недостатком — малой длиной фронта погрузочных работ. Применение уширенных дверей частично улучшает разгрузку, но не устраняет указанный недостаток полностью. Поэтому, на наш взгляд, сменный крытый кузов должен предоставлять лучший доступ к перевозимому грузу, для увеличения фронта работ при загрузке — выгрузке и креплении необходима разработка новой конструкции боковых дверей, которая бы позволяла вести по всей длине вагона погрузо-выгрузочные работы на существующих терминалах [5]. В работе [6] предложено оснащать сменные кузова подъемными дверями. Такое решение требует больших энергозатрат и усилий на открывание. Поэтому предлагается создать новую конструкцию сдвижной боковой стены облегченной конструкции. Такая стена позволит первоначально разгрузить одну половину кузова, а потом вторую. К сдвижной стене предъявляется ряд требований по прочности и недеформируемости, связанных не

только с ее надежным прикреплением и возможностью легкого открывания, но и возможностью навала груза [7].

Общий вид предлагаемого вагона со сменными кузовами представлен на рис. 1. Проектируемый сменный кузов предназначен для перевозки тарно-штучных, пакетированных и длинномерных грузов [8–10]. Конструкция кузова имеет четыре автономные раздвижные двери, установленные на роликовых опорах, которые раздвигаются вдоль кузова, освобождая пространство на половине длины кузова. Технические характеристики сменного кузова представлены в табл. 1.

В проектируемом сменном кузове загрузка и выгрузка грузов предусматривается через боковые раздвижные стены с помощью автопогрузчиков, которые могут свободно заезжать с грузом во внутрь сменного кузова и свободно маневрировать внутри.

На рис. 2 приведена модель конструкции раздвижной стены сменного кузова.

Конструкция раздвижной стены состоит из профильного каркаса, обшитого листом, верхняя и нижняя части оборудованы роликовыми подвесками (рис. 2).

Для испытания и определения механических свойств конструкции раздвижной стены в качестве четырех образцов была выбрана одна ячейка раздвижной стены из профильного каркаса в масштабе 1:1 с использованием различных мате-

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики сменного кузова

Наименование параметров	Значение
Максимальная грузоподъемность, т	30
Масса тары сменного кузова, т	5,9
Масса брутто вагона, т	36
Площадь пола максимальная, м ²	36,2
Высота наружная максимальная, мм	3800
Длина наружная максимальная, мм	12,200
Ширина наружная максимальная, мм	3200
Внутренняя длина кузова, мм	12,000
Внутренняя высота кузова, мм	3400
Внутренняя ширина кузова, мм	3020
Объем сменного кузова, м ³	122
Количество дверей, шт.	4
Ширина дверного проема, мм	6000
Высота дверного проема, мм	3400
Толщина двух боковых раздвижных стен, мм	180
Толщина двух торцевых стен, мм	200
Количество фитингов верхних, шт.	4
Количество фитингов нижних, шт.	4
Материалы изготовления элементов кузова	345-09Г2С ГОСТ 19281–2014

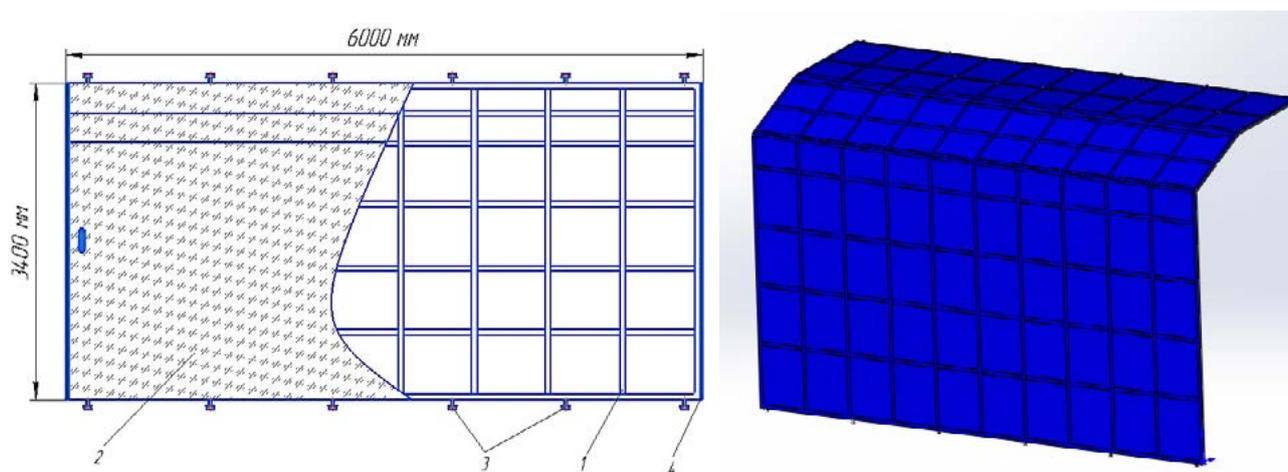


Рис. 2. Общий вид раздвижной стены сменного кузова:

1 — профильный каркас двери; 2 — обшивка двери; 3 — ролики; 4 — резиновые уплотнители

риалов. Технические характеристики выбранных образцов приведены в табл. 2. Механические характеристики материалов, применяемых в образцах, представлены в табл. 3.

Методика испытания образцов

В ходе исследования прочностных характеристик образцы (табл. 2) были подвергнуты натурным механическим испытаниям на трех точечных

ТАБЛИЦА 2. Характеристики испытываемых образцов

№	Наименование образцов	Конструктивная схема образцов, 600 × 600 × 22 мм	Несущий профиль, 40 × 20 × 2 мм	Масса образцов, кг	Общий вид образцов
1	Алюминиевый составной каркас из конструкционного профиля: АД31Т1 / ГОСТ 4784—97 Уголок с перемычкой марки: УП-1 × 4-4040 Крепежные винты: DIN7380 M5 × 10 Zn			3,30	
	Алюминиевый рифленый лист: АМг2НР 1,5 мм ГОСТ 21631—76				
2	Сварной каркас из алюминиевого прямоугольно-трубчатого профиля из марки сплава АД31Т1 (6060) ГОСТ 18475—82			2,70	
	Алюминиевый рифленый лист: АМг2НР 1,5 мм ГОСТ 21631—76				
3	Сварной каркас из стального прямоугольно-трубчатого профиля из марки сплава Ст3 ГОСТ 8645—68			5,30	
	Алюминиевый рифленый лист: АМг2НР 1,5 мм ГОСТ 21631—76				
4	Сварной каркас из алюминиевого прямоугольно-трубчатого профиля из марки сплава АД31Т1 (6060) ГОСТ 18475—82			2,20	
	Полимерный композиционный «Прег», армированный стекломатом. Плотность 300 кг/м ³				

Примечание: Все четыре предложенных образца имеют размеры в масштабе 1:1, выбраны в качестве одной ячейки раздвижной двери (рис. 1).

ТАБЛИЦА 3. Механические характеристики материалов, применяемых в образцах

Характеристики материалов	Алюминиевая профильная труба	Стальная профильная труба	Алюминиевый рифленый лист	Полимерный композиционный материал «Прег»
Плотность, кг/м ³	2850	7850	2850	300 г/м ²
Временное сопротивление σ_b , МПа (кгс/мм ²)	196 (20)	400 (40)	220 (22)	73 (7)
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа (кгс/мм ²)	210 (21)	242 (24)	190 (19)	54 (5)
Относительное удлинение σ , %	8	25	10	3

изгибах. Схема испытания образцов приведена на рис. 3.

Испытания проводились согласно стандартам ГОСТ 3728—78, при комнатной температуре на универсальной испытательной машине типа НВ-250 с погрешностью не более 1 % (рис. 4).

Образцы устанавливались на основание испытательной машины на высоте 180 мм на двух опорах, в качестве опор служили железнодорожные рельсы марки Р65 длиной 1000 мм.

Все четыре образца имеют одинаковые размеры 600 × 600 × 20 мм с разными составляющими материалами (табл. 2). На рис. 5 приведен процесс испытания четырех образцов на трехточечный изгиб под универсальной испытательной машины НВ-250. Максимальный ход перемещения нагружателя составляет 1200 мм. Из-за нехватки длины перемещения подвижной траверсы на образцах устанавливались дополнительные жесткие элементы, с помощью которых

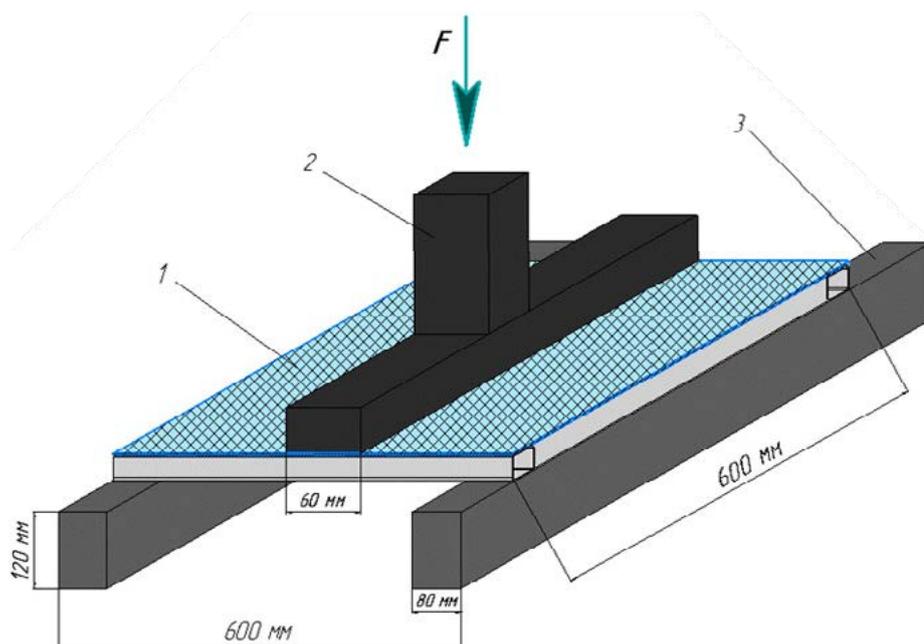


Рис. 3. Схема нагружения образцов при статическом изгибе:
1 — испытуемый образец; 2 — нагрузитель; 3 — опоры



Рис. 4. Универсальная испытательная машина
типа HB-250

увеличивался ход нагрузителя до полного выявления потери устойчивости образцов.

Результаты натурного испытания на трехточечный изгиб и прочностные характеристики четырех образцов представлены в следующих диаграммах на рис. 6.

Максимальная приложенная нагрузка для всех четырех образцов составляла 14 кН. Согласно диаграмме нагружения первого образца полное разрушение наблюдается в диапазоне 7,25–7,50 кН. Потеря устойчивости образца происходит в диапазоне 4,0–4,5 кН.

Разрушение второго образца сварной конструкции из алюминиевого профиля происходило в диапазоне 6,0–6,25 кН. При этом потеря устойчивости образца наблюдается также в пределах нагрузки 4,0–4,5 кН.

Для испытания третьего образца (Сварной каркас из стального прямоугольно-трубчатого профиля (Fe-Al)) полное разрушения образца наблюдается в пределах нагрузки 12,0–12,2 кН, что указывает на большую прочность в сравне-

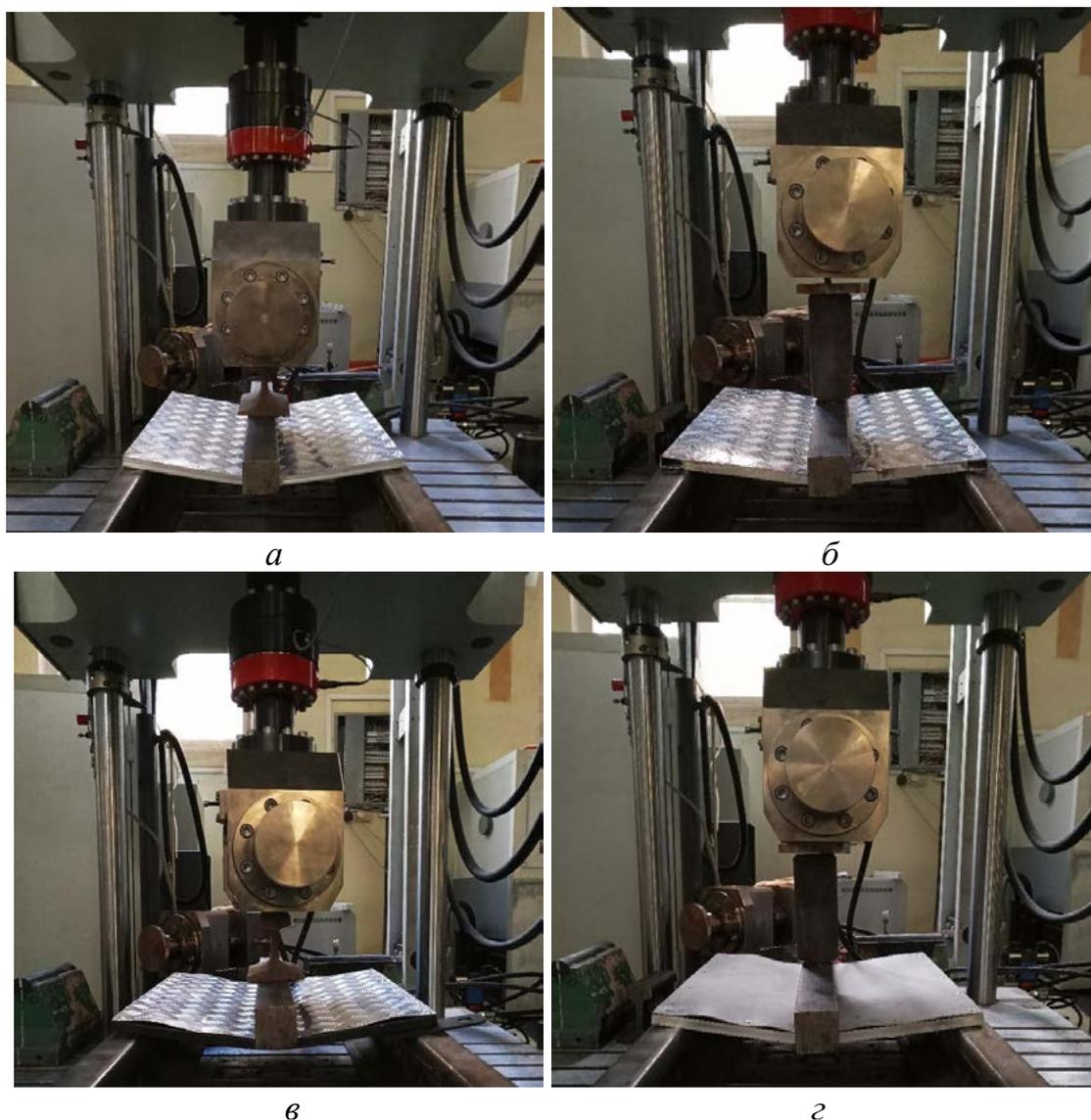


Рис. 5. Испытания образцов на трехточечный изгиб:
 а — алюминиевый составной каркас из конструкционного профиля (Al-Al);
 б — сварной каркас из алюминиевого прямоугольно-трубчатого профиля (Al-Al);
 в — сварной каркас из стального прямоугольно-трубчатого профиля (Fe-Al);
 г — сварной каркас из алюминиевого прямоугольно-трубчатого профиля (Al-ПКМ)

нии с предыдущими образцами. Нагрузка потери устойчивости образца — 6,0–6,5 кН.

Как видно на диаграмме нагружения четвертого образца, полное разрушение с полимерным композиционным материалом происходит при нагрузке в пределах 5,75–5,9 кН. Потеря устойчивости образца наблюдается в диапазоне нагрузке 4,0–4,2 кН.

Проведенные расчеты на прочность и натурные испытания образцов по определению меха-

нических свойств предложенных материалов и конструкций показали, что наибольшую прочность имеет третий образец, сварной каркас из стального прямоугольно-трубчатого профиля (Fe-Al). Основным недостатком данного образца является его большая масса, равная 5,30 кг. Хорошие результаты показал алюминиевый составной каркас из конструкционного профиля (Al-Al), имеющий массу 3,30 кг, с максимальной проч-

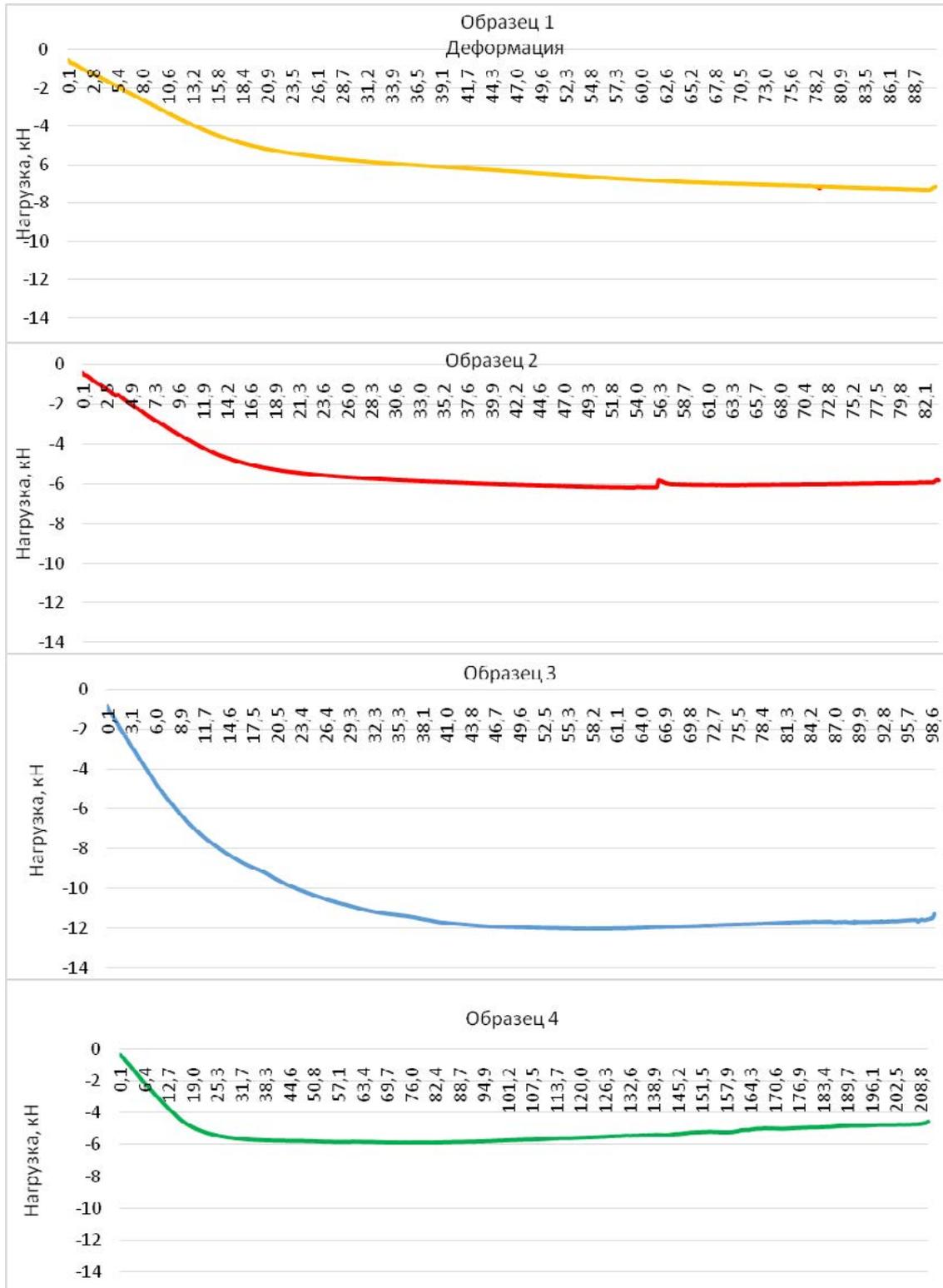


Рис. 6. Диаграмма нагружения образцов при трехточечном изгибе:
образец 1 — алюминиевый составной каркас из конструкционного профиля (Al-Al);
образец 2 — сварной каркас из алюминиевого прямоугольно-трубчатого профиля (Al-Al);
образец 3 — сварной каркас из стального прямоугольно-трубчатого профиля (Fe-Al);
образец 4 — сварной каркас из алюминиевого прямоугольно-трубчатого профиля (Al-ПКМ)

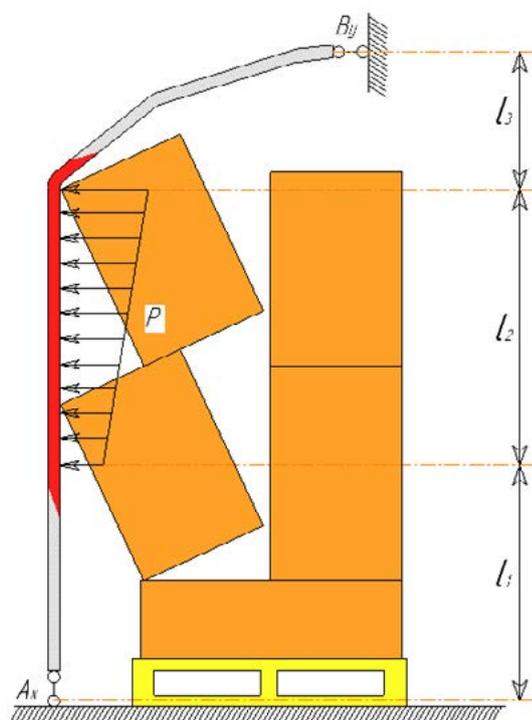


Рис. 7. Расчетная схема раздвижной стены сменного кузова в случаях навала груза на нее при транспортировке

Имя модели: раздвижная дверь

Название исследования: статистический анализ

Тип эюры: статистический анализ узловое напряжение

Шкала деформации: 100

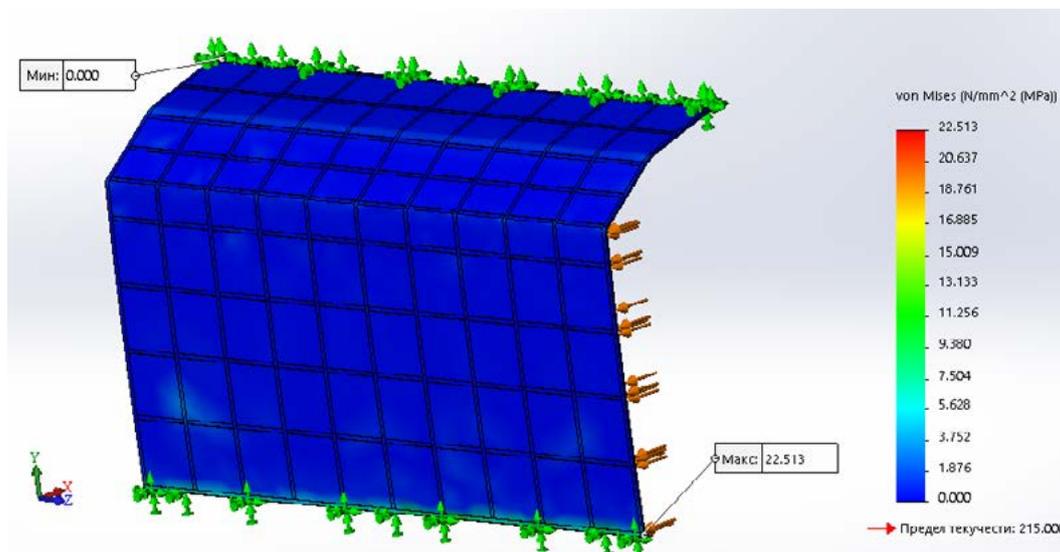


Рис. 8. Распределение эквивалентных узловых напряжений в конструкции раздвижной двери сменного кузова (МПа)

ностью 7,50 кН. Недостатком (образец № 1) этой конструкции является его способ крепления и крепежные элементы.

С учетом результатов испытаний была создана математическая модель раздвижной стены сменного кузова в программе SolidWorks 2016. На рис. 7 представлена расчетная схема раздвижной стены сменного кузова в случаях навала груза на нее при транспортировке.

С помощью метода конечных элементов согласно расчетной схеме был смоделирован навал груза с внутренней стороны раздвижной стены.

В результате расчета получены эпюры распределения узловых напряжений, представленные на рис. 8.

При расчете была приложена нагрузка, равная 10 кН для данной конструкции раздвижной стены из алюминиевого сплава марки 5052-Н34. Анализ расчета эпюры узловых напряжений в конструкции раздвижной стены показывает, что наиболее напряженными зонами в конструкции

ТАБЛИЦА 4. Результаты испытания раздвижной стены

Приложенная нагрузка, кН	Предел текучести материала, МПа	Максимальное узловое напряжение, МПа	Коэффициент запаса прочности	Узлы Элементы	Материалы стены
10	215	22,5	1,0	29020 16298	А1-А1 5052-Н34

двери оказалась средняя часть стены, имеющая максимальное напряжение 22,5 МПа. Результаты расчета моделирования раздвижной стены приведены в табл. 4.

Долговечность и надежность конструкции проектируемых сменных и съемных кузовов, их узлов и деталей (элементов) зависят от соответствующих выбранных материалов, технологических процессов (методов) изготовления и от ремонтпригодности несущих элементов. Использование наиболее рациональных конструктивных форм и профилей деталей и узлов сменных и съемных кузовов грузовых вагонов позволяет достичь необходимой прочности при наименьшей собственной массе кузова. Алюминиевый составной каркас из конструкционного профиля (А1-А1), изготовленный методом горячего выдавливания, является наиболее подходящим конструкционным материалом для применения в качестве обшивки раздвижных дверей сменных и съемных кузовов грузовых вагонов.

Библиографический список

1. Бороненко Ю. П. Перспективы внедрения вагонов со съемными кузовами увеличенной грузоподъемности / Ю. П. Бороненко, А. С. Даукша // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2017. — Т. 14. — Вып. 3. — С. 437–451.
2. Даукша А. С. Съемные кузова — инновационный вариант совершенствования конструкции вагонов / А. С. Даукша // Системы автоматизированного проектирования на транспорте: сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конференции. — СПб.: ПГУПС, 2014. — С. 50–52.
3. Соколов А. М. Разработка сочлененного вагона-платформы со съемными кузовами для повышения эффективности перевозок / А. М. Соколов, К. В. Кякк, А. С. Кононенко // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: сб. трудов XII Междунар. науч.-технич. конференции. — СПб.: ПГУПС, 2017. — С. 80–83.
4. Бороненко Ю. П. Результаты маркетингового исследования опций «умной» скоростной платформы / Ю. П. Бороненко, О. Д. Покровская, Т. С. Титова, Д. В. Шевченко // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2021. — Т. 18. — Вып. 3 — С. 353–376.
5. Даукша А. С., Преимущества и перспективы внедрения съемных кузовов вагонов / А. С. Даукша, Ю. П. Бороненко // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: сб. тр. XI Международ. науч.-технич. конф. — СПб.: ПГУПС, 2016. — С. 12–14.
6. Бороненко Ю. П. Анализ технических решений вагона-паллетовоза / Ю. П. Бороненко, О. Д. Покровская, Т. С. Титова и др. // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2021. — Т. 18. — Вып. 1. — С. 95–120.
7. Кононенко А. С. Сочлененные вагоны-платформы со съемными кузовами повысят эффективность перевозок / А. С. Кононенко, А. А. Меркулов, А. Ю. Новоселов и др. // Вагоны и вагонное хозяйство. — 2018. — № 4. — С. 36–40.
8. Зайнитдинов О. И. Сменный кузов для перевозки тарно-штучных грузов / О. И. Зайнитдинов, А. С. Даукша // Транспорт Российской Федерации. — СПб.: ПГУПС, ООО «Т-ПРЕССА». — 2021. — Вып. 4(95). — С. 47–49.
9. Даукша А. С. Совершенствование вагонов на основе использования съемных кузовов / А. С. Даукша, Ю. П. Бороненко // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: сб. тр. X Международ. науч.-технич. конф. — СПб.: ПГУПС, 2015. — С. 45–53.

10. Бороненко Ю. П. Стратегические задачи вагоностроителей и развитии тяжеловесного движения / Ю. П. Бороненко // Транспорт РФ. — 2013. — № 5 — С. 68–74.

Дата поступления: 04.04.2022

Решение о публикации: 24.04.2022

Контактная информация:

ЗАЙНИТДИНОВ Олмос Ирикович — аспирант;
zaynitdinovo@mail.ru

КОМИЧЕНКО Станислав Олегович —
начальник отдела испытаний металлопродукции;
komichenko@gmail.com

Choice of Materials and Constructive Settlements of Sliding Wall Interchangeable Body

O. I. Zaynitdinov¹, S. O. Komichenko²

¹Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

²Corporation “NVC Vagoni”, 2, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Zaynitdinov O. I., Komichenko S. O. Choice of Materials and Constructive Settlements of Sliding Wall Interchangeable Body // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 2, pp. 210–220. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-2-210-220

Summary

Purpose: Material choice and construction development of sliding wall for interchangeable body with expanding side walls and roof. **Methods:** Development and calculation of interchangeable body sliding wall construction were being fulfilled according to several technical-normative documentations with the help of engineering programs КОМПАС-3Dv18.1 and SOLIDWORKS 2016. Mechanical trials of samples were held on the basis of Petersburg Transport University in Mechanical Laboratory named after Prof. Beleyubskiy N. A. **Results:** interchangeable body slide door construction has been developed. The variants of samples of interchangeable body side wall of various materials and construction are proposed. Sample “on location” trials to define mechanical properties were pursued. The results on experimental and theoretical research to define stress-deformable sample states for interchangeable body sliding side walls are given. **Practical importance:** The developed construction of sliding wall with various material application makes it possible to lower tare mass of new being projected interchangeable and removable bodies with expanding slide walls and roof wherein preserving own strength characteristics.

Keywords: Sliding door, aluminum panel, body element construction, aluminum composite frame, profile pipe, sheathing, mathematical model, mechanical properties.

References

1. Boronenko Yu. P. Perspektivy vnedreniya vagonov so s”emnymi kuzovami uvelichennoy gruzopod”emnosti [Prospects for the introduction of wagons with increased load capacity swap bodies]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [News of the Petersburg University of

Communications]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2017, vol. 14, I. 3, pp. 437–451. (In Russian)

2. Dauksha A. S. S”emnye kuzova – innovatsionnyy variant sovershenstvovaniya konstruktсии vagonov [Demountable bodies - an innovative option for improving the design of cars]. *Sistemy avtomatizirovannogo*

proektirovaniya na transporte [Automated design systems in transport]. St. Petersburg.: PGUPS Publ., 2014, pp. 50–52. (In Russian)

3. Sokolov A. M. Razrabotka sochlenennogo vagona-platformy so s"emnymi kuzovami dlya povysheniya effektivnosti perevozok [Development of an articulated platform car with swap bodies to improve the efficiency of transportation]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty* [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2017, pp. 80–83. (In Russian)

4. Boronenko Yu. P., Pokrovskaya O. D., Titova T. S., Shevchenko D. V. Rezul'taty marketingovogo issledovaniya optsiy «umnoy» skorostnoy platformy [The results of a marketing study of the options of a “smart” high-speed platform]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Bulletin of the Petersburg University of Communications]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2021, vol. 18, I. 3, pp. 353–376. (In Russian)

5. Dauksha A. S. Preimushchestva i perspektivy vnedreniya s"emnykh kuzovov vagonov [Benefits and prospects for the introduction of swap body cars]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty* [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2016, pp. 12–14. (In Russian)

6. Boronenko Yu. P., Pokrovskaya O. D., Titova T. S., Tsyganskaya L. V., Beyn D. G., Kondratenko S. V. Analiz tekhnicheskikh resheniy vagona-pallevovoza [Analysis of technical solutions for a pallet car]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of the Petersburg University of Railways]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2021, vol. 18, I. 1, pp. 95–120. (In Russian)

7. Kononenko A. S. Sochlenennye vagony-platformy so s"emnymi kuzovami povysyat effektivnost' perevozok [Articulated platform cars with swap bodies will increase the efficiency of transportation]. *Vagony i vagonnoe khozyaystvo* [Wagons and wagon business]. 2018, I. 4, pp. 36–40. (In Russian)

8. Zaynitdinov O. I. Smenny kuzov dlya perevozki tarno-shtuchnykh грузов [Swap body for the transportation of packaged goods]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation]. St. Petersburg: PGUPS Publ., «T-PRESSA» Publ., I. 4 (95), 2021, pp. 47–49. (In Russian)

9. Dauksha A. S. Sovershenstvovanie vagonov na osnove ispol'zovaniya s"emnykh kuzovov [Improvement of cars based on the use of swap bodies]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty* [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2015, pp. 45–53. (In Russian)

10. Boronenko Yu. P. Strategicheskie zadachi vagonostroiteley i razvitiya tyazhelovesnogo dvizheniya [Strategic tasks of car builders and the development of heavy-haul traffic]. *Transport RF* [Transport RF]. 2013, I. 5, pp. 68–74. (In Russian)

Received: April 04, 2022

Accepted: April 24, 2022

Author's information:

Olmos I. ZAYNITDINOV – Postgraduate Student;
zaynitdinovo@mail.ru

Stanislav O. KOMICHENKO – Head of Metal Productions
Trial Department; komichenko@gmail.com