

# ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПОЛУВАГОНА ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

**Ю.В. Почиталов, магистр техн. наук,  
К.В. Кякк, канд. техн. наук, Инженерный  
центр вагоностроения, г. Санкт-Петербург**

Один из наиболее распространенных типов подвижного состава, используемого на железных дорогах России, стран СНГ, США, Канады и других стран, — полувагон. Развитие технологий в машиностроительной отрасли, изменение стоимости конструкционных материалов, а также научно-технический прогресс первой половины XX века определили переход от комбинированной конструкции вагона с деревянными стенами к стальным сварным кузовам.

Позднее, начиная с 1958 г., для строительства полувагонов в странах Северной Америки начали использовать алюминиевые сплавы. Наиболее

массовое их применение приходится на 70-е годы прошлого века.

По состоянию на 2009 г. около 80 % парка вагонов-углевозов США и Канады изготовлены из стали и примерно 20 % — из алюминиевых сплавов. В Европе подвижной состав с кузовами из легких сплавов начали использовать с 80-х годов, однако широкого распространения он не получил.

В России и странах СНГ до настоящего времени серийно строят полувагоны исключительно из стали. В то же время первые попытки освоения алюминиевых сплавов были предприняты на ФГУП «Уралвагонзавод» в 60-х годах XX века и впоследствии в 90-х годах. Однако

эти проекты не имели дальнейшего развития.

В 2005 г. специалисты НПП «Технологический центр» на производственной базе ОАО «Воронежское акционерное самолетостроительное общество» также начали опытно-конструкторские работы по изготовлению полувагонов из легких сплавов. К сожалению, до настоящего времени они не завершены.

Кузова полувагонов, изготовленные из алюминиевых сплавов различными производителями, имеют свои характерные особенности. Так, в США и Канаде эксплуатируются полувагоны с кузовом, изготовленным полностью из алюминиевых сплавов, например BethGon II компании «Freight Car America» (рис. 1), а также комбинированного типа, где несущая рама и нижняя часть кузова из стали, а боковые и торцевые стены — из алюминиевого сплава (пример таких конструкций — Hybrid Gon той же компании, рис. 2).

Как видно из рисунков, для североамериканских полувагонов характерна такая конструктивная особенность, как наличие продольных цилиндрических ниш по сторонам от хребтовой балки. Эти ниши увеличивают объем кузова и снижают его центр тяжести. Кроме того, внутри кузова у таких вагонов установлены раскосы и растяжки, обеспечивающие необходимую прочность боковых стен.

Различные варианты использования конструкционных материалов применены и в проектах российских разработчиков. Так, кузов опытного образца полувагона, построенного на ФГУП «Уралвагонзавод», собран как из стальных, так и из алюминиевых деталей и сборочных единиц (рис. 3), а в проекте ИЦ ОАО «ВАСО» предусмотрена целиком алюминиевая несущая конструкция (рис. 4).

Конструкция кузова может быть разделена на основные элементы. Детали вагона (хребтовую балку, балки рамы, настил пола, обшивку и стойки боковых и торцевых стен) изготавливают или из стали, или из алюминия.

Очевидно, что при использовании только стальных конструкционных материалов, совмещении в одном кузове как стальных, так и алюминиевых элементов или изготовлении кузова целиком из алюминиевых сплавов вагоны имеют различные технико-экономические параметры (табл. 1). Соответственно, достигается различный экономический эффект от их эксплуатации.

Для оценки эффективности использования той или иной конструк-



Рис. 1. Полувагон BethGon II, «Freight Car America»



Рис. 2. Полувагон Hybrid Gon, «Freight Car America»

ции было выполнено технико-экономическое обоснование применения алюминиевых сплавов для различных элементов кузова. Варианты конструкции сравнивали по стоимости перевозки одной тонны груза в вагоне, отнесенной ко всем затратам за срок службы.

Такая оценка эффективности имеет сравнительный характер и выполняется при равных принятых условиях эксплуатации парков вагонов и, как правило, с учетом следующих составляющих затрат жизненного цикла вагона:

- на приобретение парка вагонов (первоначальные);
- на ремонт парка вагонов;
- на оплату тарифов за перевозку груза и возврат порожних вагонов.

На первом этапе технико-экономического обоснования было необходимо выбрать груз для его использования в сравнительном расчете. Из всей номенклатуры грузов, перевозимых на полувагонах, выделен наиболее массовый по объему перевозок в России — каменный уголь с погрузочной плотностью 0,8 т/м<sup>3</sup>. Расчет объема кузова вагона и массы перевозимого в нем груза производился с учетом требований технических условий погрузки и крепления грузов в части формирования шапки.

**Д**ля определения экономической целесообразности применения легких сплавов рассматривались также цельнометаллические полувагоны традиционной конструкции. При этом из всех моделей были выбраны наиболее полно отвечающие требованиям к перевозке угля по таким показателям, как масса тары, грузоподъемность и полезный объем кузова: 12-196-01 ОАО «НПК "Уралвагонзавод"», 12-791 ОАО «Крюковский вагоностроительный завод», 12-4102 АО «Днепровагонмаш», 12-2123 ЗАО «Промтрактор-Вагон» (табл. 1) и прочие.

На втором этапе было сформировано множество вариантов конструкции полувагона с различным объемом применения алюминиевых сплавов. Для этого, в соответствии с принятым разделением на основные элементы (группы элементов), рассмат-

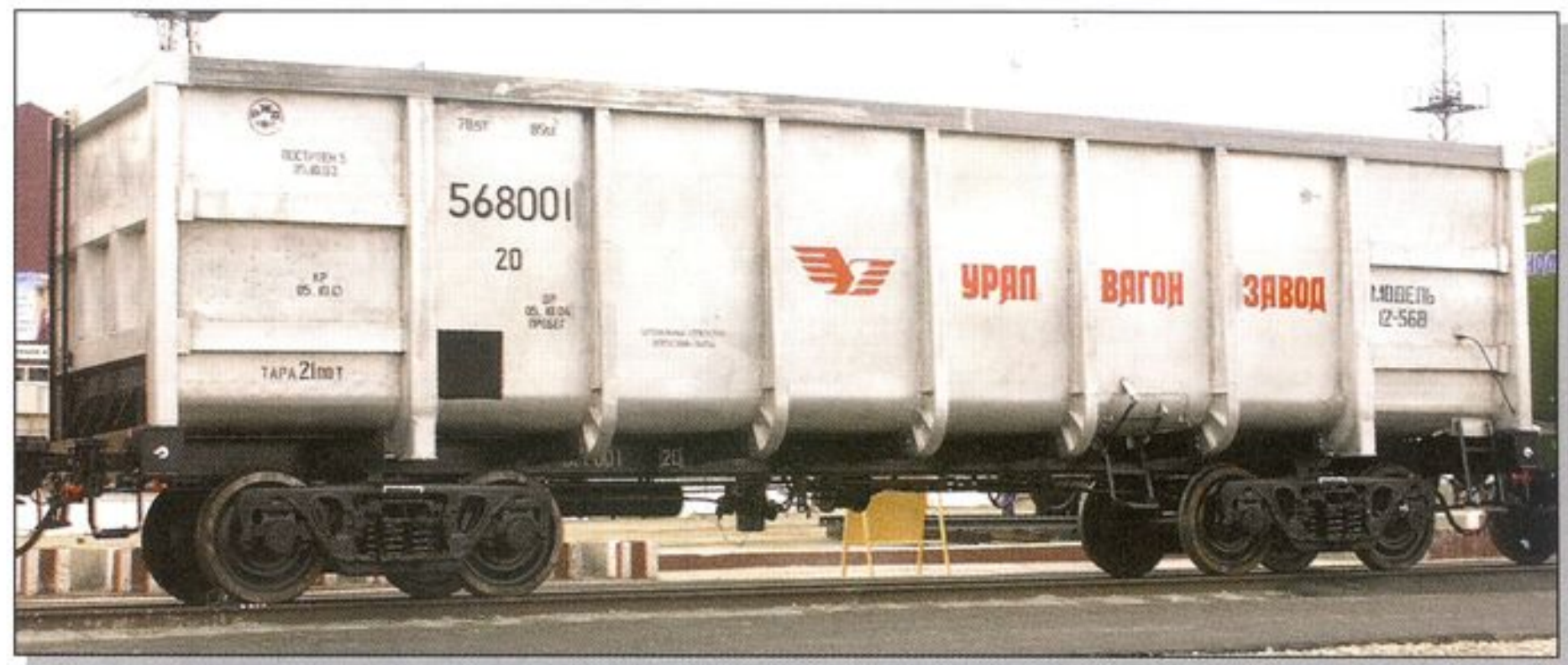


Рис. 3. Полувагон модели 12-568, ФГУП «Уралвагонзавод»

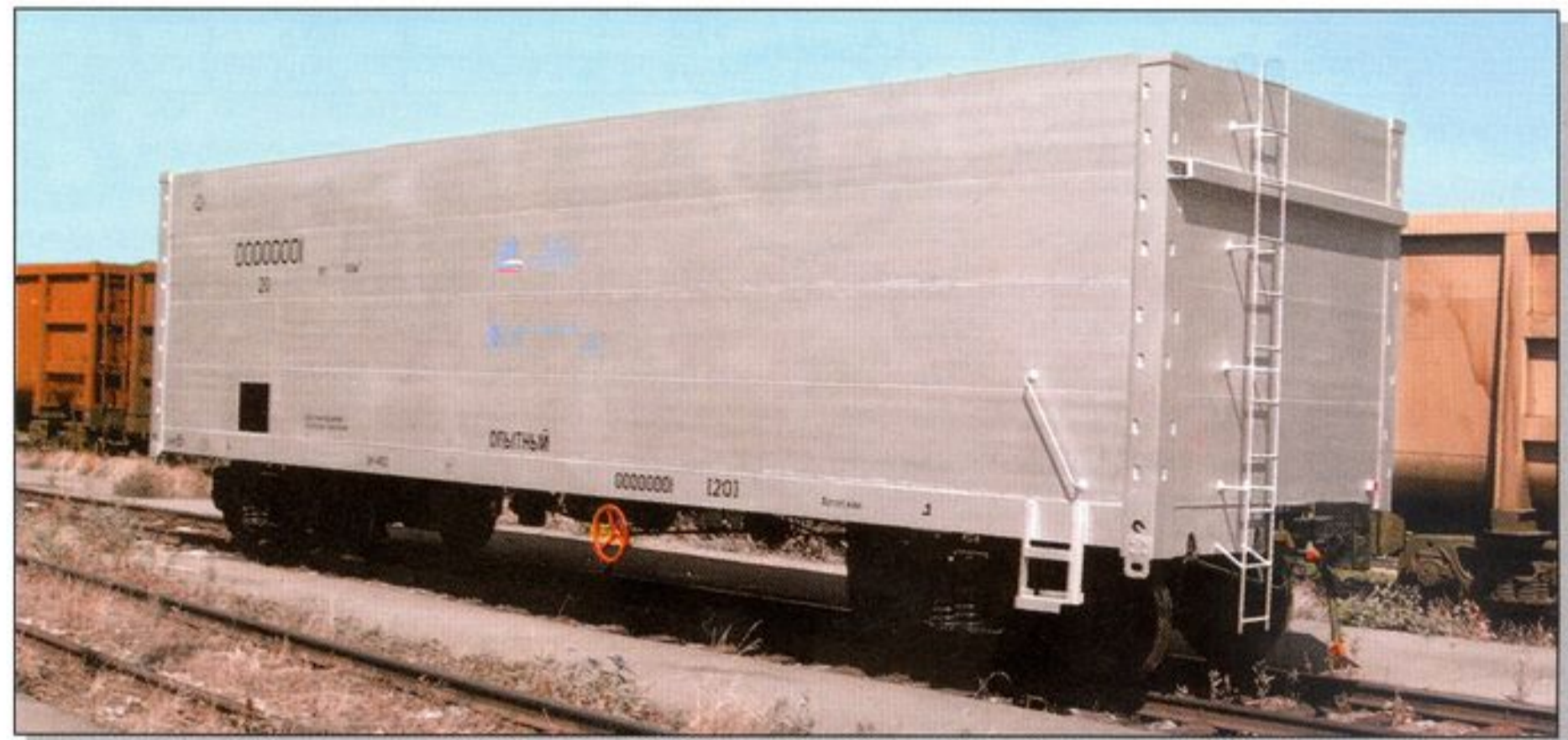


Рис. 4. Полувагон модели BA2005, ИЦ ОАО «ВАСО»

ривалось изготовление каждого элемента как из стали, так и из легких сплавов (табл. 2).

В представленной таблице вариант полувагона №1 с кузовом целиком из стали является непосредственно прототипом обычного вагона. Вариант №2 со стальными балками, алюминиевыми листами пола, боковых и торцевых стен, соединенных вытяжными заклепками, — аналог полувагонов, широко распространенных на дорогах США и Канады.

Вариант полувагона №3 со стальной рамой и с боковыми и торцевыми стенами из алюминиевого сплава также имеет аналоги, эксплуатируемые в Северной Америке. Вариант №5 включает в себя конструкцию, целиком выполненную из алюминиевых сплавов, в том числе подножки и кронштейны тормозного оборудования. Полувагон варианта №4 являет-

ся промежуточным. Сравнительная оценка производилась для перспективной на сегодняшний день осевой нагрузки в 25 тс.

Для принятого прототипа известны все стоимостные составляющие его жизненного цикла: рыночная стоимость нового изделия, стоимость деповского и капитального ремонтов. Кроме того, известны стоимость материалов, изготовления одной тонны готовой металлоконструкции, основных комплектующих, а также прочие затраты, не зависящие от материала.

При определении технико-экономических и стоимостных показателей вариантов №2 — 5 в конструкции прототипа стальные элементы (группы элементов) последовательно заменялись равнопрочными из алюминиевых сплавов. Увеличение грузоподъемности сопровождалось соответствующим ростом объема кузова.

Таблица 1

Основные технико-экономические параметры полувагонов

Наименование параметра	Модель полувагона							
	Hybrid Gon	Beth Gon II	12-568	BA2005	12-196-01	12-791	12-4102	12-2123
Тара вагона, т	21,8	18,9	21,0	19,0	24,3	22,9	23,0	24,0
Грузоподъемность, т	108,0	110,8	78,5	81,0	75,0	71,0	71,0	76,0
Коэффициент тары	0,20	0,17	0,27	0,23	0,32	0,32	0,32	0,32
Объем кузова, м <sup>3</sup>	117	128	85	101	88	80	82	89
База вагона, м	11,6	12,2	8,65	9,26	8,65	8,65	8,65	7,88
Длина по осям сцепления автосцепок, м	15,5	16,2	13,92	13,92	13,92	13,92	13,92	12,1
Нагрузка на ось, тс	32,5	32,5	25,0	25,0	25,0	23,5	23,5	25,0
Материал кузова	алюминиевый сплав, сталь	алюминиевый сплав	алюминиевый сплав, сталь	алюминиевый сплав	сталь			

Таблица 2

## Материал конструктивных элементов кузова полувагона

Элемент конструкции	Номер варианта полувагона					
	1	2	3	4	5	
Хребтовая балка	СТАЛЬ	СТАЛЬ			АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ	
Балки пола (рама)		СТАЛЬ				
Настил пола		АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ	АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ	АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ		
Балки боковой стены		СТАЛЬ				
Лист боковой стены		АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ				
Балки торцевой стены		СТАЛЬ				
Лист торцевой стены		АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ	СТАЛЬ			
Кронштейны тормоза						
Подножки, поручни						

Таблица 3

## Технико-экономические показатели вариантов исполнения полувагона

Наименование показателя	Номер варианта полувагона				
	1	2	3	4	5
Масса тары, т	24,4	22,4	20,7	19,4	18,5
Объем кузова, м <sup>3</sup>	86	89	91	92	94
Грузоподъемность, т	75,6	77,6	79,3	80,6	81,5
Стоимость, тыс. руб.*	1382	1591	2043	2286	2635

\* В ценах февраля 2009 г.

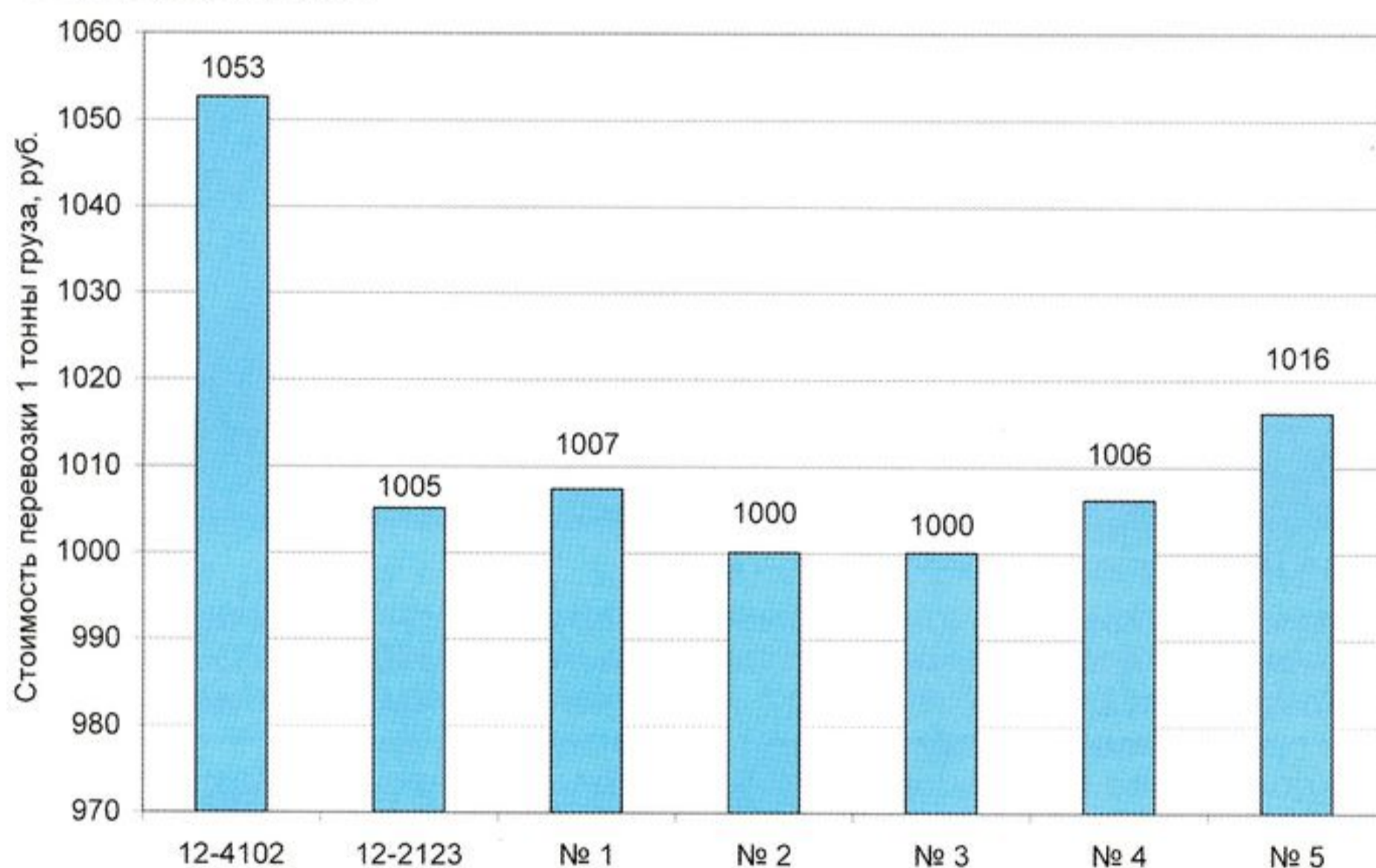


Рис. 5. Удельная стоимость перевозки одной тонны груза

При определении стоимости вариантов стоимость алюминиевого листа и профилей принималась исходя из средней рыночной цены заводов-изготовителей. Удорожание стоимости изготовления одной тонны готовой продукции из алюминиевых материалов оценивалась экспертным путем с учетом

конструктивной сложности изготавливаемого узла и применяемой технологии соединения деталей. По результатам выполнения указанных подстановок были определены технико-экономические и стоимостные показатели вариантов исполнения полувагона с применением алюминиевых сплавов (табл. 3).

Стоимость деповского ремонта для полувагонов из алюминиевых сплавов принималась равной аналогичной стоимости для полувагонов из низколегированных сталей. Такое решение обосновано тем, что при деповском ремонте восстановлению подлежат в основном ходовые части, автосцепное и тормозное оборудование. Значительных ремонтных работ на кузовной части вагона не проводится.

Стоимость капитального ремонта для полувагонов из алюминиевых сплавов увеличивалась пропорционально возрастанию стоимости такого нового вагона в целом по отношению к стоимости серийного нового вагона. Таким образом, чем больше процент использования алюминиевых сплавов в конструкции кузова вагона, тем выше принимается стоимость его капитального ремонта.

**З**атраты на оплату тарифов за перевозку груза и возврат порожних вагонов определялись в соответствии с Прейскурантом № 10-01 «Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами». Расчет затрат на оплату тарифов выполнялся для собственного парка вагонов с 100%-ным порожним обратным пробегом для плеча перевозки 4250 км. В качестве груза был принят каменный уголь марки Д с годовым объемом перевозок 2500 тыс. т.

В соответствии с указанным выше порядком специалистами была рассчитана удельная стоимость перевозки одной тонны груза за жизненный цикл полувагона, показывающая эффективность эксплуатации. Кроме разработанных вариантов полувагонов № 1 — 5, сравнение производилось для серийно выпускаемого полувагона модели 12-2123 габарита Тпр производства ЗАО «Промтрактор-Вагон», специализированного на перевозке каменного угля. Был рас-

Таблица 4

## Оценка эффективности эксплуатации полувагона по критерию удельной стоимости перевозки одной тонны груза

Наименование параметра	Модель, номер варианта полувагона						
	12-4102	12-2123	1	2	3	4	5
Осевая нагрузка, тс	23,5	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Масса тары, т	23,0	24,0	24,4	22,4	20,7	19,4	18,5
Грузоподъемность, т	71,0	76,0	75,6	77,6	79,3	80,6	81,5
Объем кузова расчетный, м <sup>3</sup>	90	97	94	97	99	100	102
Срок службы, лет	22						
Стоимость вагона расчетная, тыс. руб.	1312	1364	1382	1591	2043	2286	2635
Средняя стоимость капитального ремонта, тыс. руб.	75	75	75	87	112	126	145
Средняя стоимость деповского ремонта, тыс. руб.	50						
Потребный парк вагонов для перевозки годового объема груза, ваг.	2201	2056	2067	2014	1970	1939	1917
Стоимость потребного парка вагонов, млн. руб.	2887	2804	2856	3204	4025	4432	5052
Стоимость ремонта потребного парка вагонов за срок службы, млн. руб.	1375	977	775	779	812	826	853
Количество оборотов за год	16						
Оплата груженого тарифа потребного парка за срок службы, млн. руб.	39306	38119	38320	37881	37337	37462	37505
Оплата порожнего тарифа потребного парка за срок службы, млн. руб.	14327	13385	13455	13109	12828	12621	12482
Суммарные затраты на приобретение, ремонт и оплату тарифов потребного парка за срок службы, млн. руб.	57896	55284	55407	54973	55002	55340	55892
Удельная стоимость перевозки одной тонны груза, руб.	1053	1005	1007	1000	1000	1006	1016

смотрен и полувагон модели 12-4102 производства АО «Днепровагонмаш» для сопоставления аналогичных данных для полувагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс (табл. 4, рис. 5).

Анализ полученных результатов показал, что минимальная стоимость перевозки одной тонны груза, соответствующая максимальной эффективности приобретения и эксплуатации полувагонов, характерна предложенным в работе вариантам № 2 и 3. При этом вариант полувагона № 3 является более технологичным и обладает на 2 % меньшим объемом потребного парка по сравнению с вариантом № 2.

Эффективность варианта полувагона № 3 со стальной рамой, кузовом из алюминиевых сплавов и с осевой нагрузкой 25 тс выше на 0,7 % эффективности полувагона с целиком стальным кузовом и осевой нагрузкой 25 тс и на 0,5 % — полувагона габарита Тпр модели 12-2123 с осевой нагрузкой 25 тс. Вариант № 3 также на 1,6 % эффективнее полувагона с кузовом, целиком выполненным из алюминиевых сплавов при осевой нагрузке 25 тс и на 5,3 % — полувагона модели 12-4102 с осевой нагрузкой 23,5 тс.

Выполненная разработка вариантов конструкции и оценка эффективности их эксплуатации является предпроектным исследованием. В результате проведенного сравнительного анализа вариантов были обоснованы наиболее целесообразные направления использования алюминиевых сплавов в конструкции полувагонов для перевозки угля с осевой нагрузкой 25 тс.

На основании оценки эффективности эксплуатации полувагонов различной конструкции показана целесообразность использования в вагоне стальной рамы совместно с алюминиевыми боковыми и торцевыми стенами. В последующем при применении алюминиевых сплавов для изготовления вагонов необходимо решить задачи разработки и внедрения соответствующей технологии, а также усовершенствовать систему погрузки-выгрузки.

В исследовательской работе показано, что на первоначальном этапе использование легких сплавов при строительстве новых полувагонов дает незначительный экономический эффект по сравнению с применением конструкционных сталей в уже поставленных на производство полувагонах. Однако, как свидетельствует опыт зарубежных производителей данного вида подвижного состава, при соответствующем развитии технологий производства и ремонта экономический эффект может быть увеличен.

# ТИХВИНСКИЙ ЗАВОД ПОЛУЧИЛ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ НА ВАГОН-ХОППЕР МОДЕЛИ 19-9835

В соответствии с планами работ по созданию грузовых вагонов нового поколения на Тихвинском вагоностроительном заводе (ТВСЗ) успешно прошли приемочные испытания вагона-хоппера для сыпучих грузов модели 19-9835-01 на тележках «Barber S-2-R» с нагрузкой от оси колесной пары на рельсы 23,5 тс. Вагон-хоппер является совместной разработкой компании «Starfire Engineering



и отечественные аналоги. Объем кузова вагона-хоппера составляет 101 м<sup>3</sup>, что даст возможность на 6 — 7 % увеличить загрузку, а также сократить количество необходимых вагонов для перевозки груза.

Вагон-хоппер обладает высокой степенью унификации конструкций для осевых нагрузок 23,5 и 25 тс на ось. В целях повышения долговечности и защиты кузова от агрессивного воздействия груза



Вагон-хоппер для сыпучих грузов модели 19-9835-01 на тележках «Barber S-2-R» с нагрузкой от оси колесной пары на рельсы 23,5 тс

& Technologies» (США) и Инженерного центра вагоностроения (г. Санкт-Петербург).

В работе приемочной комиссии приняли участие представители Департамента технической политики, Департамента вагонного хозяйства, Центра технического аудита и Центральной дирекции по ремонту грузовых вагонов ОАО «РЖД», а также Федеральной службы экологического, технического и атомного надзора (ФСЭТАН), Испытательного и Инженерного центров Группы компаний «Инженерный центр вагоностроения».

Применение инновационных технологических решений позволило создать вагон, превосходящий по своим техническим и экономическим параметрам существую-

применены современные покрытия со сроком службы свыше 6 лет.

В первой половине 2011 г. ТВСЗ планирует также сертифицировать вагон-хоппер с нагрузкой от оси колесной пары на рельсы 25 тс.

Производственная мощность ТВСЗ — 13 тыс. вагонов, 65 тыс. колесных пар и 80 тыс. т стального железнодорожного литья в год. Площадь ТВСЗ — 50 га, площадь производственных помещений — 233 тыс. м<sup>2</sup>. Планируемая численность сотрудников — 3500 чел., общий объем инвестиций — более 1 млрд. долларов.



По материалам пресс-службы  
Группы компаний ИСТ