

# Целостная модель формирования требований к грузовым вагонам на примере проекта «Северный широтный ход»

С. В. ПЕТРОВ<sup>1</sup>, И. В. НАЗАРОВ<sup>1</sup>, О. Н. НАЗАРОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

<sup>2</sup> Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»), Москва, 107174, Россия

**Аннотация.** В условиях экономической интеграции важным фактором является повышение эффективности железнодорожного транспорта. Это зависит как от качества перевозочного процесса в целом, так и от качества отдельных его элементов. Особенно следует выделить подвижной состав, и в частности грузовые вагоны, так как именно с вагоном в пути следования производятся трудоемкие технологические операции, включая маневровые работы, техническое и коммерческое обслуживание, неплановый ремонт, а также стартовые и финишные операции — погрузка и выгрузка. Поэтому от качества вагонов в малой степени зависит эффективность грузовых перевозок.

В этой связи в статье освещены результаты разработки целостной модели формирования требований к грузовым вагонам, повышающих эффективность перевозочного процесса с учетом особенностей конкретных условий перевозок. В данном случае целостная модель применена к условиям вывоза грузов с месторождений Западной Сибири по маршрутам магистрального проекта «Северный широтный ход».

Целостная модель формирования требований к вагонам Северного широтного хода включает:

- эксплуатационно-функциональную модель, содержащую обоснование технико-экономических параметров вагонов и модели полигонов их эксплуатации с учетом производимых технологических операций;
- модель надежности, содержащую обоснование показателей надежности вагонов и параметров системы их технического обслуживания и ремонта;
- модель оценки и подтверждения эффективности, основанную на результатах расчета комплекса технических и экономических показателей вагонов.

Целостная модель позволяет формировать рациональные требования к вагонам разного уровня специализации для конкретных условий эксплуатации. Модель позволяет также прогнозировать эффекты для участников перевозочного процесса при использовании вагонов с заданными характеристиками в конкретных условиях перевозок. Это способствует использованию принципов динамического ценообразования тарифов в зависимости не только от вида груза и региона, но и от маршрута следования, дальности перевозок и других параметров. В результате будут обеспечены преимущества и конкурентоспособность железнодорожного транспорта.

**Ключевые слова:** грузовые вагоны; качество; надежность; эффективность; технические параметры

**Введение.** Повышение уровня экономической связанности территории Российской Федерации посредством расширения и модернизации железно-

рожной инфраструктуры и увеличение в связи с этим грузооборота является одной из основных стратегических задач органов государственного управления согласно Указу Президента Российской Федерации В. В. Путина от 7 мая 2018 г. № 204. В частности, распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 августа 2018 г. № 1663-р предусмотрено строительство Северного широтного хода (СШХ) — железнодорожной магистрали, связывающей Свердловскую и Северную железные дороги в арктической зоне России. СШХ призван высвободить мощности Транссибирской магистрали, оптимизировать грузопотоки, дальность и время перевозок, а также дополнительно обеспечить вывоз углеводородного сырья с месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа.

Достижение поставленной стратегической задачи неразрывно связано с повышением качества подвижного состава, в том числе грузовых вагонов, эксплуатация которых предусмотрена в сложных климатических условиях северных заснеженных районов с многолетнемерзлыми грунтами. Следует отметить, что качество любой продукции определяется способностью удовлетворять потребности не только потребителей (конечных пользователей данной продукции), но и всех заинтересованных сторон [1, 2]. Именно поэтому при формировании требований к грузовым вагонам на стадии их проектирования следует учитывать интересы всех участников перевозочного процесса, включая производителя, собственников вагонов, перевозчика, владельца инфраструктуры, грузоотправителей и грузополучателей, а также интересы органов государственного управления.

Владелец инфраструктуры прежде всего заинтересован как в рациональной логистике потоков грузов, так и в сокращении себестоимости их транспортировки, в том числе за счет оптимизации технологического процесса перевозок. Владелец вагонов заинтересован как в повышении производительности вагонов, так и в сокращении стоимости их жизненного цикла, включая стоимость приобретения вагонов, затраты на их техническое обслуживание и ремонт, а также утилизацию.

■ E-mail: [Petrov.S.V@vniizht.ru](mailto:Petrov.S.V@vniizht.ru) (С. В. Петров)



Рис. 1. Структура целостной модели формирования технических требований к грузовым вагонам для организации эффективного перевозочного процесса по маршрутам СШХ  
 Fig. 1. Structure of a holistic model for the formation of technical requirements for freight cars for the organization of an efficient transportation process along the routes of the Northern Latitudinal Railway (NLR)

Для грузоотправителей и грузополучателей в целом представляет интерес увеличение собственных перерабатывающих способностей в виде сокращения времени на погрузку и выгрузку вагонов. При этом все вышеперечисленные стороны заинтересованы в повышении конкурентоспособности железнодорожного транспорта за счет увеличения скорости и ритмичности доставки грузов при безусловном обеспечении безопасности перевозочного процесса. Производитель, в свою очередь, эффективно используя всю полноту собственных технико-технологических возможностей, заинтересован максимально учесть потребности причастных сторон, тем самым обеспечив себя прибылью от реализации заказов на поставку в эксплуатацию перспективных вагонов, обладающих конкурентными преимуществами по сравнению с вагонами-аналогами эксплуатационного парка.

Качество грузовых вагонов является комплексным (обобщающим) свойством, зависящим от ряда частных составляющих свойств и их показателей [3]. Учитывая вышеперечисленные интересы сторон, к числу ключевых обобщающих свойств и показателей качества грузовых вагонов следует отнести: надежность, безопасность, производительность, металлоемкость конструкции и уровень воздействия на путь. Согласно квалиметрии неотъемлемым свойством, сопутствующим качеству, также является экономичность производства и эксплуатации вагонов [4].

В статье предлагается к рассмотрению целостная модель формирования требований к грузовым вагонам для организации эффективного перевозочного процесса,

учитывающая множественность заинтересованных сторон и их потребностей в повышении качества вагонов, на примере проекта «Северный широтный ход» (рис. 1).

**Эксплуатационно-функциональная модель вагона СШХ.** В рамках эксплуатационно-функциональной модели (ЭФМ) проведен прогнозный анализ перевозок по маршрутам СШХ в соответствии с данными из открытых источников информации [5]. Грузовая база СШХ включает следующие добываемые грузы: газовый конденсат — 11,5 млн т в год, нефтепродукты — 3,7 млн т в год, сырая нефть — 3,8 млн т в год, сжиженные углеводородные газы (СУГ), включая широкую фракцию легких углеводородов, — 2,4 млн т в год.

На основе номенклатуры грузов определен типаж вагонов для их вывоза, в том числе вагоны-цистерны под:

- светлые нефтепродукты;
- нефть и темные нефтепродукты;
- СУГ.

На первом этапе с целью формирования улучшенных конструкторских исполнений вагонов для СШХ в качестве проектировочной основы было рассмотрено множество вариаций существующих вагонов-аналогов и прототипов, в том числе 22 модели вагонов-цистерн известных производителей, предназначенных для перевозки нефтепродуктов, а также СУГ. Из общего числа рассмотренных особенностей моделей вагонов в рамках статьи следует отметить ключевые технические параметры (базовые показатели качества) вагонов, влияющие на эффективность освоения заданного объема грузоперевозок, в том числе:

- грузоподъемность, т;

- масса тары, т;
- габарит;
- число тележек/осей;
- нагрузка от оси на рельсы, тс;
- длина по осям сцепления, мм;
- объем котла, м<sup>3</sup>;
- конструкционная (эксплуатационная) скорость, км/ч.

На основе технических характеристик вагонов были установлены их технико-экономические параметры (ТЭП) (определяющие показатели качества), положенные в основу критериев выбора среди множества вариантов моделей наилучшего вагона-аналога применительно к инфраструктурным возможностям маршрутов СШХ, а также структуре грузопотока, определяемой видом груза, объемом и дальностью перевозок. Перечень ТЭП и критериев, основанных на них, включает [6, 7, 8]:

- среднюю статическую нагрузку, т (optimum → = грузоподъемность);
- среднюю динамическую нагрузку, т (optimum → = грузоподъемность);
- погонную нагрузку нетто, тс/м (optimum → max);
- погонную нагрузку брутто, тс/м (optimum ≤ [норматив инфраструктуры]);
- коэффициент использования грузоподъемности (optimum → max);
- погрузочный коэффициент тары (optimum → min);
- технический коэффициент тары (optimum → min);
- среднюю степень наполнения котла, % (optimum → [норматив]).

При расчете ТЭП были учтены климатические особенности перевозок грузов с месторождений Западной Сибири по маршрутам СШХ (рис. 2). Так, например, в формуле расчета исходного параметра «средняя статическая нагрузка» ( $P_{cti}$ ), определяющего и последующие ТЭП, для нефтеналивных грузов, перевозимых при температуре окружающего воздуха без специального подогрева, учтена допустимая степень наполнения котла  $\eta_i$

$$P_{cti} = \frac{\eta_i V \rho_{\tau i}}{10^5}, \text{ т}, \quad (1)$$

где  $V$  – внутренний объем котла цистерны, м<sup>3</sup>;  $\rho_{\tau i}$  – плотность  $i$ -го наливного груза при погрузке, рассчитанная при среднегодовом значении температуры окружающей среды климатического района в зоне пунктов погрузки СШХ, кг/м<sup>3</sup>.

$\eta_i$  определяется в соответствии с Правилами [9] по формуле

$$\eta_i = \frac{100}{1 + \alpha_i (t_{mi} - t_{ni})}, \%, \quad (2)$$

где  $t_{mi}$  – максимальная температура нефтепродукта  $i$ -го вида при транспортировке, °С;  $t_{ni}$  – температура нефтепродукта  $i$ -го вида при наливе, °С;  $\alpha_i$  – коэф-

фициент объемного расширения нефтепродукта  $i$ -го вида в интервале температур от  $t_{ni}$  до  $t_{mi}$ .

Разность величин  $t_{mi} - t_{ni} = \Delta_i$  определяет максимальный перепад температур перевозимого нефтепродукта  $i$ -го вида в ходе транспортировки.

Для СУГ в формуле (1) вместо  $\rho_{\tau i}$  принимается величина  $\rho_{\tau i}$  – максимально допустимая масса наполнения  $i$ -м сжиженным газом вагонов-цистерн на литр их вместимости, кг/л, определяемая как табличное значение по [9].

Температурные параметры климатических районов зон погрузки ( $I_2$ ), транспортировки ( $I_2 - II_3$ ) и выгрузки ( $II_3$ ) определялись по ГОСТ 16350–80 [10].

В результате анализа существующих моделей вагонов с учетом отмеченных критериев были выбраны рациональные варианты вагонов-аналогов применительно к каждому сегменту перевозок, т. е. отдельно для светлых нефтепродуктов, нефти и темных нефтепродуктов, СУГ. Затем на базе выбранных рациональных вариантов вагонов-аналогов с учетом тех же критериев были сформированы перспективные требования к вагонам для СШХ путем разумного улучшения технических параметров применительно к заданной структуре грузопотока (видам грузов, их плотности, объему и дальности перевозок). В табл. 1 приведены результаты формирования основных технических требований к

Таблица 1

Основные технические и технико-экономические параметры вагонов СШХ

Table 1

Basic technical and engineering-economic parameters of NLR cars

№ п/п	Наименование параметра*	Наименование груза, вывозимого с месторождений Западной Сибири по маршрутам СШХ		
		Светлые нефтепродукты	Нефть и темные нефтепродукты	СУГ
1	Грузоподъемность, не менее, т	69,5	71,0	54,0
2	Масса тары, не более, т	24,5	23,0	37,0
3	Нагрузка от оси на рельс, не менее, тс	23,5	23,5	22,75
4	Расчетная погонная нагрузка брутто, не менее, тс/м	7,82	7,82	7,57
5	Коэффициент тары, не более	0,34	0,32	0,69
6	Длина по осям сцепления, мм	12 020	12 020	12 020
7	Объем котла, не менее, м <sup>3</sup>	89,5	80,5	95,0
8	Конструкционная (эксплуатационная) скорость, км/ч	120 (120)	120 (120)	120 (120)
9	Система с функциями и технологиями «умный вагон»	+	+	+

\* параметры приведены в расчете на 4-осные вагоны-цистерны. Проектируемые вагоны-цистерны многоосные (более 4 осей) или сочлененного типа должны соответствовать производным параметрам, приведенным в пп. 3–5, 8, 9 данной таблицы.

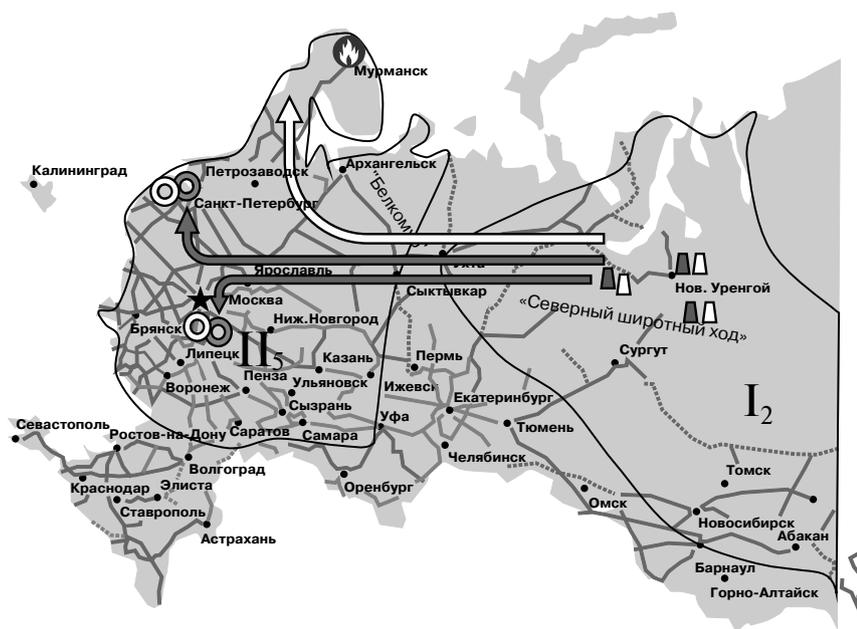


Рис. 2. Климатические условия эксплуатации грузовых вагонов при вывозе грузов с месторождений Западной Сибири по маршрутам СШХ и их сменяемость (в соответствии с ГОСТ 16350–80):

▲ — места погрузки нефти и темных нефтепродуктов; ▽ — места погрузки светлых нефтепродуктов и СУГ; ⚡, ⚡, ⚡ — места выгрузки СУГ, светлых, темных нефтепродуктов; ⤴ — направление вывоза СУГ; ⤴ — направление вывоза нефти, темных и светлых нефтепродуктов; I<sub>2</sub> — холодный климатический район (зоны погрузки); II<sub>5</sub> — умеренный климатический район (зоны выгрузки)

Fig. 2. Climatic conditions for the operation of freight cars during the export of freights from the fields of Western Siberia along the routes of the NLR and their rotation (in accordance with GOST 16350–80):

▲ — places of loading oil and dark oil products; ▽ — places of loading of light oil products and liquefied petroleum gases (LPG); ⚡, ⚡, ⚡ — places of unloading of LPG, light, dark oil products; ⤴ — direction of LPG export; ⤴ — direction of export of oil, dark and light oil products; I<sub>2</sub> — cold climatic region (loading zones); II<sub>5</sub> — temperate climatic region (unloading zones)

перспективным вагонам СШХ, влияющих на их производительность и металлоемкость конструкций.

В условиях использования вагонов СШХ в холодном климатическом районе (I<sub>2</sub> по ГОСТ 16350–80) особое значение приобретает такое свойство качества, как безопасность. В северных заснеженных районах с распространением многолетнемерзлых пород ограничены возможности применения напольного диагностического оборудования и трудовых ресурсов для своевременного выявления и устранения неисправностей подвижного состава. В этой связи применительно к вагонам СШХ целесообразна организация технического обслуживания подвижного состава по малолюдной или безлюдной технологии с применением средств самодиагностики технического состояния. С этой целью для вагонов СШХ были установлены требования к наличию системы с функциями и технологиями «умный вагон», включающей:

1. Устройство электропитания и устройство мониторинга и диагностики вагона [11], выполняющие следующие функции:

1.1. Функции безопасности, в том числе:

- контроль температуры буксового узла;
- контроль схода вагонов с рельсов.

1.2. Функции обеспечения сохранности груза [12], в том числе:

- контроль целостности запорно-пломбировочных устройств;
- контроль герметичности и давления в цистерне.

2. Средства бортовой телеметрии для контроля критичности износов деталей вагона [13, 14].

3. Тормозную систему с электронным управлением и функциями самодиагностики, повышающими безопасность движения и исключающими необходимость опробования тормозов на пунктах технического обслуживания [15, 16].

Следует отметить, что применение электронно-пневматического тормоза позволяет увеличить максимально допустимую эксплуатационную скорость вагонов на типовых ходовых частях вплоть до 120 км/ч за счет сокращения длины тормозного пути не менее чем на 30 %, а также снижения продольных динамических сил в составе поезда и его воздействий на путь при реализации тормозных процессов [17].

Важной частью ЭФМ вагонов СШХ являются модели ключевых полигонов вывоза грузов с месторождений Западной Сибири, построенные с учетом цепочки технологических операций с вагонами в процессе перевозок и их временных составляющих, включая: подготовку под погрузку (техническое обслуживание, промывка, пропарка, дегазация котлов цистерн), операции погрузки-выгрузки, осмотр вагонов при передаче на пути (с путей) производственных предприятий, безостановочное движение в составе поезда по отдельным участкам заданных полигонов, простои на станциях при смене локомотивов и локомотивных бригад, при техническом обслуживании составов поездов, а также ремонтные операции с вагонами, учитывая текущий, деповской и капитальный ремонты (ТР, ДР, КР).

Модели полигонов были построены для ключевых маршрутов вывоза грузов по СШХ, в том числе: «Лимбей—Усть-Луга» (вывоз газового конденсата),

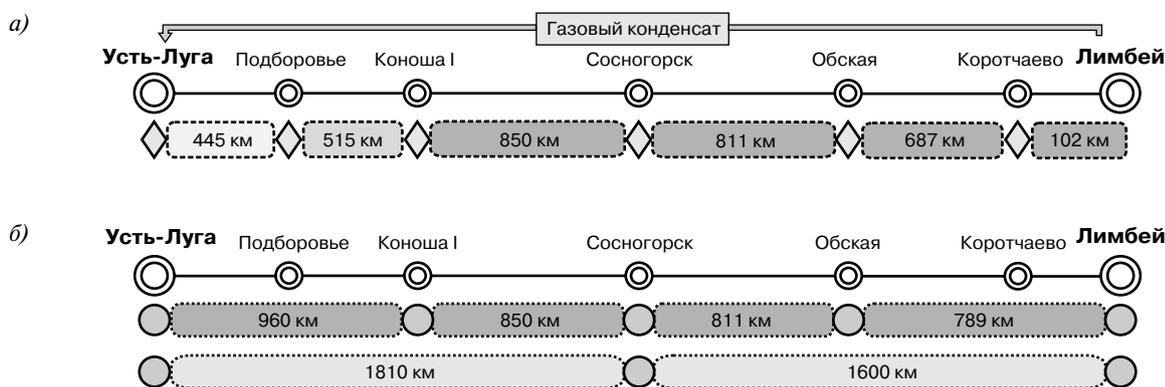


Рис. 3. Схема условного полигона «Лимбей—Усть-Луга» для вывоза газового конденсата по маршрутам СШХ:

- a* — схема полигона с учетом видов перевозимых грузов, видов тяги и пунктов смены локомотивов:  
 — плечо обслуживания тепловозом; — плечо обслуживания электровозом переменного/постоянного тока;  
 — пункты смены локомотива поезда, сформированного из вагонов-аналогов или перспективных вагонов;  
*b* — схема полигона с учетом гарантийных вагонных плеч и пунктов технического обслуживания:  
 — гарантийное плечо вагона-аналога; — гарантийное плечо перспективного вагона;  
 — пункты технического обслуживания вагонов, включая механизированные пункты их ТР

Fig. 3. Scheme of the operational area “Limbey–Ust-Luga” for the export of gas condensate along the routes of the NLR:

- a* — scheme of the operational area taking into account the types of transported freights, types of traction and locomotive change points:  
 — service leg by a locomotive; — leg for servicing by an AC/DC electric locomotive;  
 — points for loading the locomotive of a train formed from similar or prospective cars;  
*b* — scheme of the operational area taking into account the warranty car legs and maintenance points:  
 — warranty leg of the similar car; — warranty leg of a prospective car;  
 — points of car maintenance, including mechanized points of their current repair

«Татаринцево—Усть-Луга» (вывоз сырой нефти) и «Коротчаево—Мурманск» (вывоз СУГ). Все маршруты пролегают через СШХ с переходом на Северную железную дорогу, далее на Октябрьскую железную дорогу до пунктов выгрузки. На рис. 3 для примера приведена схема маршрута «Лимбей—Усть-Луга» с особенностями по видам тяги, пунктам смены локомотивов, гарантийным плечам и пунктам технического обслуживания и ремонта вагонов.

Сформированные модели полигонов позволили аккумулировать всю необходимую информацию, а также получить расчетные данные (интенсивность использования, производительность, оборот, потребный парк вагонов, параметры поездных формирований и др.) для сравнительной оценки технических показателей использования, затрат на перевозку грузов и техническое содержание при применении вагонов-аналогов и перспективных вагонов СШХ в рамках модели оценки и подтверждения эффективности.

**Модель надежности вагона СШХ.** Эта модель является дополнением (частью) ЭФМ. Так, значения показателей надежности для перспективных вагонов установлены применительно к заданным полигонам эксплуатации с учетом потребного увеличения протяженности гарантийных плеч безопасного проследования вагонов исходя из показателей надежности вагонов эксплуатационного парка. Параметры системы технического обслуживания и ремонта (СТОИР) перспек-

тивных вагонов установлены с учетом прогнозируемой повышенной интенсивности их использования на заданных полигонах исходя из опыта эксплуатации существующих вагонов наиболее современных моделей. В табл. 2 приведены сравнительные данные о показателях надежности и параметрах СТОИР рационального варианта вагона-аналога и перспективного вагона СШХ.

Данные табл. 2 были использованы в рамках модели оценки и подтверждения эффективности вагонов СШХ при оценке затрат владельца инфраструктуры в части технического обслуживания вагонов, включая сопутствующие затраты на маневровую работу по отцепке вагонов в ремонт и постановке в поезд после него, простой на станционных путях, а также затрат владельца вагонов на их техническое содержание в эксплуатации. Кроме того, данные табл. 2 позволили получить расчетные значения полного оборота вагонов-аналогов и перспективных вагонов СШХ с учетом всех ремонтных составляющих по ТР, ДР и КР, являющихся неотъемлемой частью экономических расчетов.

**Модель оценки и подтверждения эффективности вагона СШХ.** Эта модель включает методические положения и результаты расчета комплекса технических и экономических показателей, определяющих эффективность применения перспективных вагонов СШХ по сравнению с рациональным вариантом вагонов-аналогов при вывозе грузов с месторождений Западной Сибири.

Таблица 2

Показатели надежности и параметры СТОИР вагона-аналога и перспективного (нового) вагона СШХ

Table 2

Reliability indicators and parameters of the system of maintenance and repair of similar car and prospective (new) NLR car

Наименование показателя	Полигон эксплуатации, наименование груза					
	Лимбей—Усть-Луга, светлые нефтепродукты		Татаринцево—Усть-Луга, темные нефтепродукты		Коротчаево—Мурманск, СУГ	
	Вагон-аналог	Новый вагон	Вагон-аналог	Новый вагон	Вагон-аналог	Новый вагон
Осредненный параметр потока отказов, $\cdot 10^{-5} \text{ км}^{-1}$	0,562 <sup>1</sup>	0,202 <sup>2</sup>	0,562	0,202	0,076	0,046
Вероятность безотказной работы при проследовании полигона	—	0,993	—	0,994	—	0,998
Периодичность ДР:						
• после постройки, тыс. км (лет)	210 (3)	от 600 (5) <sup>3</sup>	210 (3)	от 600 (5)	210 (3)	от 600 (5)
• после ДР, тыс. км (лет)	110 (3)	от 600 (5)	110 (3)	от 600 (5)	110 (3)	от 600 (5)
• после КР, тыс. км (лет)	160 (3)	от 600 (5)	160 (3)	от 600 (5)	160 (3)	от 600 (5)
Периодичность КР: после постройки/после КР, лет	13/12	16/16	13/12	16/16	10/10	16/16
Назначенный срок службы, лет	32	40	32	40	40	40

<sup>1</sup> для вагона-аналога определено на основе среднесетевых данных об отказах вагонов-цистерн эксплуатационного парка, приведенных в [18].

<sup>2</sup> для перспективных (новых) вагонов определено с учетом увеличения гарантийных плеч безопасного проследования вагонов.

<sup>3</sup> при оценке стоимости жизненного цикла новых вагонов рассмотрены межремонтные нормативы по пробегу и календарной продолжительности эксплуатации — от 600 (5) до 1000 (8) тыс. км (лет).

Эффективность перспективных вагонов СШХ выражается в виде совокупности экономических и технических эффектов, достигаемых за счет:

- сокращения затрат владельца инфраструктуры на обеспечение перевозочного процесса и поддержание инфраструктуры в исправном состоянии, включая затраты материальных, энергетических, тяговых и трудовых ресурсов;

- сокращения затрат владельца вагонов на их приобретение и поддержание в исправном состоянии, определяемых в виде уменьшения стоимости жизненного цикла (СЖЦ) вагонов;

- повышения производительности вагонов;
- увеличения скорости доставки грузов.

Повышение производительности вагонов и скорости доставки грузов, как было отмечено во введении, являются положительными техническими эффектами как для владельца инфраструктуры и собственника вагонов, так и для грузоотправителя и грузополучателя.

Расчет экономического эффекта Э от сокращения затрат на перевозку грузов при использовании перспективных вагонов СШХ произведен методом расходных ставок отдельно по участкам следования с тепловозной и электровозной тягой с учетом затрат ключевых измерителей (табл. 3) по формуле

Таблица 3

Перечень измерителей для определения расходов на вывоз грузов по СШХ

Table 3

List of meters for determining the costs of the export of freights on the NLR

№ п/п	Наименование измерителя	Обозначение
1	Вагоно-километры	$I_1$
2	Локомотиво-километры	$I_2$
3	Локомотиво-часы	$I_3$
4	Бригадо-часы	$I_4$
5	Тонно-километры брутто	$I_5$
6	Расход электроэнергии, кВт·ч	$I_6$
7	Расход топлива, кг	$I_7$
8	Маневровые локомотиво-часы	$I_8$
9	Количество грузовых отправок	$I_9$
10	Станционные вагоно-часы	$I_{10}$

$$\mathcal{E} = S_a - S_n, \text{ млн руб.}, \quad (3)$$

где  $S_a$  и  $S_n$  — величины зависящих расходов на освоение заданного объема перевозок в вагонах-аналогах и перспективных вагонах соответственно.

В свою очередь,  $S_a$  и  $S_n$  определяются по формуле

$$S_{a;n} = \frac{\Gamma}{1000} \left[ \left( \sum_{i=1}^{n=10} e_i I_i - e_7 I_7 \right) L_s + \left( \sum_{i=1}^{n=10} e_i I_i - e_6 I_6 \right) L_t \right], \text{ млн руб.}, \quad (4)$$

где  $\Gamma$  — годовой объем перевозок данного вида груза по заданному полигону, млн т в год;  $n = 10$  — общее число измерителей (табл. 3);  $e_i$  — расходная ставка по  $i$ -му измерителю для вагона-аналога при расчете  $S_a$  и перспективного вагона СШХ при расчете  $S_n$ , руб.;  $I_i$  — затраты  $i$ -го измерителя на 1000 т·км нетто суммарно в груженом

и обратном (порожнем) рейсе для вагона-аналога при расчете  $S_a$  и перспективного вагона СШХ при расчете  $S_n$ ;  $L_s$  — протяженность участков заданного полигона с электровозной тягой, км;  $L_t$  — протяженность участков заданного полигона с тепловозной тягой, км.

Перечень измерителей и расходных ставок принят по Методике [19].

В табл. 4 и на рис. 4 приведены результаты расчета экономического эффекта Э.

Расчет экономического эффекта от сокращения СЖЦ вагонов осуществлен согласно Методике [20] в базовых ценах, т.е. без учета временных изменений стоимости денежных средств за счет инфляции и дисконтирования, так как первичная цель — не оценка капитальных вложений на приобретение и содержание вагонов, а относительный сравнительный анализ вагона-аналога и перспективного вагона, позволяющий определить более экономичный вариант для потребителя.

Для корректной сравнительной оценки изменения СЖЦ вагонов согласно Методике [21] применен показатель «удельный эффект от сокращения СЖЦ», приведенный к году эксплуатации вагона с учетом его назначенного срока службы.

Расчет удельного эффекта от сокращения СЖЦ вагонов  $\Delta LCC_{уд}$  произведен по формуле

$$\Delta LCC_{уд} = \frac{1}{T_n} \left[ \frac{T_n}{T_a} LCC_a - LCC_n \right], \text{ тыс. руб.,} \quad (5)$$

где  $LCC_{a,n}$  — СЖЦ вагона-аналога и перспективного вагона соответственно;  $T_{a,n}$  — назначенный срок службы аналога и перспективного вагона соответственно.

СЖЦ вагона-аналога и перспективного вагона определена с учетом покупной стоимости вагонов (без учета цены системы «умный вагон»), расчетной частоты проведения и стоимости ТР, периодичности и стоимости ДР, КР вагона и отдельно КР колесных пар как дорогостоящих сменных элементов. Расчеты произведены с учетом интенсивности использования вагонов по пробегу, показателей их надежности и параметров СТОИР, установленных в рамках модели надежности вагонов.

На рис. 5 приведены результаты расчета  $\Delta LCC_{уд}$  на примере перспективного вагона СШХ для перевозки светлых нефтепродуктов при разных параметрах СТОИР.

Следует отметить, что из-за повышенной производительности перспективных вагонов их потребный парк для освоения заданного объема перевозок будет меньше потребного парка вагонов-аналогов, поэтому при расчете СЖЦ на весь парк вагонов будет дополнительный эффект за счет снижения потребного объема закупок новых вагонов.

Расчет технического эффекта перспективных вагонов СШХ осуществлен в виде относительных показателей — «коэффициент изменения среднесуточной

Таблица 4

Эффект от сокращения затрат на перевозку грузов при использовании перспективных вагонов СШХ

Table 4

Effect of reducing the cost of transportation of freights when using prospective NLR cars

Тип цистерны	Вид перевозимого груза	Объем перевозок, млн т в год	Полигон эксплуатации	Годовой эффект, млн руб. в год
Для светлых нефтепродуктов	Газовый конденсат	8,3	Лимбей—Усть-Луга	402,23
Для темных нефтепродуктов	Сырая нефть	3,0	Татаринцево—Усть-Луга	106,4
СУГ	СУГ	1,6	Коротчаево—Мурманск	157,64

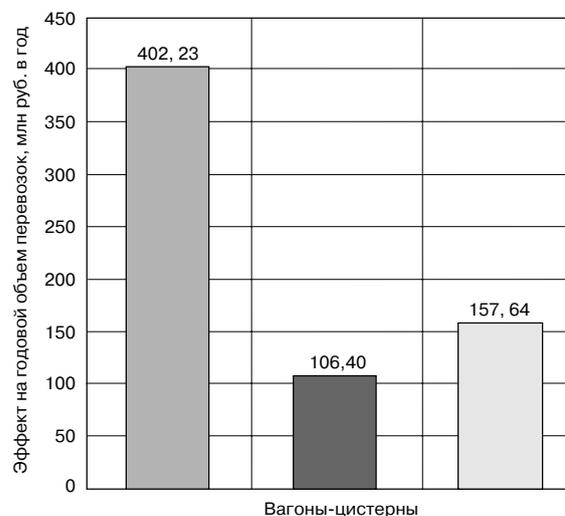


Рис. 4. Эффект от сокращения затрат на перевозку грузов при использовании перспективных вагонов СШХ:

- — для светлых нефтепродуктов;
  - — для темных нефтепродуктов; ■ — для СУГ
- Fig. 4. Effect of reducing the cost of transportation of freights when using prospective cars on the NLR:
- — for light oil products;
  - — for dark petroleum products; ■ — for LPG

производительности вагона» ( $K_{пр}$ ) и «коэффициент изменения времени доставки груза» ( $K_d$ ), определяемых по формулам

$$K_{пр} = \frac{F_{ваг}^П}{F_{ваг}^A}; \quad (6)$$

$$K_d = \frac{t_d^A}{t_d^П}, \quad (7)$$

где  $F_{ваг}^П, F_{ваг}^A$  — среднесуточная производительность перспективного вагона и вагона-аналога на заданном полигоне соответственно, т·км нетто/сут;  $t_d^П, t_d^A$  — расчетное время доставки груза на заданном полигоне при применении перспективных вагонов и вагонов-аналогов соответственно, ч.

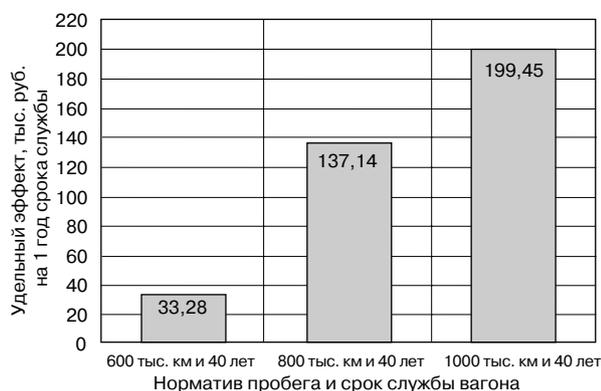


Рис. 5. Удельный эффект от изменения СЖЦ перспективного вагона СШХ для перевозки светлых нефтепродуктов при различных нормативах пробега

Fig. 5. Specific effect of the change in the life cycle cost of a prospective NLR car for the transportation of light oil products at different mileage standards

Результаты расчета этих коэффициентов показывают, что применение перспективных вагонов сопровождается повышением производительности в среднем в 1,23 раза и сокращением времени доставки груза в 1,17 раза.

**Заключение.** Целостная модель формирования требований к грузовым вагонам, примененная к условиям вывоза грузов с месторождений северных районов Западной Сибири, позволила определить облик перспективного вагона для Северного широтного хода по ряду технических и технико-экономических параметров с подтверждением эффективности его использования в перевозочном процессе. Ключевыми особенностями качества перспективного вагона являются:

- повышенная производительность, достигаемая за счет рациональных конструкторских решений в части увеличения погонной нагрузки нетто, контролепригодности, периодичности технического обслуживания и ремонта, эксплуатационной скорости, использования электронно-пневматической тормозной системы;
- повышенные требования к надежности и безопасности, которые должны быть реализованы за счет применения новых конструкционных материалов, технологий проектирования и изготовления вагонов;
- сниженная металлоемкость конструкции, которая должна достигаться за счет полного или частичного применения облегченных материалов кузова, рамы и съемных деталей вагона, а также конструкторских решений по нахождению баланса массы тары, грузоподъемности, объема кузова и прочностных характеристик вагона применительно к заданному виду груза.

Особенности перспективного вагона способствуют повышению экономичности его эксплуатации, подтверждение которой осуществлено в виде оценки затрат владельца инфраструктуры на перевозку грузов по заданным полигонам и совокупных затрат владель-

ца вагонов на приобретение и техническое содержание вагонов в течение их жизненного цикла.

Разработанная целостная модель позволяет формировать рациональные требования к грузовым вагонам разного уровня специализации (от универсальных до узко ориентированных под конкретный вид груза) на этапе их проектирования применительно к конкретным видам, особенностям и условиям перевозок, полигонам использования и маршрутам следования поездов. Так, например, подобная модель была использована при разработке перспективных требований к вагонам для контейнерно-контрейлерных перевозок.

Целостная модель позволяет прогнозировать экономические эффекты для владельца инфраструктуры и собственника вагонов, а также технические эффекты для грузоотправителя и грузополучателя при использовании вагонов с заданными параметрами и показателями качества в конкретных условиях перевозок. Таким образом, открывается возможность более гибкого дифференцированного управления тарифной политикой на железнодорожном транспорте с использованием принципов динамического ценообразования тарифов в зависимости не только от вида перевозимого груза и региона, но и от конкретного маршрута следования, дальности перевозок, плотности графика движения, параметров вагонов и поездного формирования в целом. В результате данного подхода к тарификации будут обеспечены выгоды и преимущества, перспективы и конкурентоспособность рынка железнодорожных перевозок и его участников по сравнению с другими видами перевозок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никаноров П.А. ИСО 9000:2015: говорим правильно! // Стандарты и качество. 2016. № 5 (947). С. 26–30.
2. Надежность и функциональная безопасность как основные составляющие качества пассажирских вагонов / С. В. Петров [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2018. Т. 77. № 4. С. 241–249. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-4-241-249>.
3. Azgaldov G. G., Kostin A. V. Applied qualitymetry: its origins, errors and misconceptions // Benchmarking: An International Journal. 2011. Vol. 18. No 3. P. 428–444.
4. Азгальдов Г. Г., Костин А. В., Садовов В. В. Квалиметрия: первоначальные сведения. Справочное пособие с примером для АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов»: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 2010. 143 с.
5. Перспективы железнодорожных перевозок грузов по Северному широтному ходу [Электронный ресурс]. URL: <https://opzt.ru/wp-content/uploads/2018/04/Vopros-3-Pehterev-F.S.pdf> (дата обращения: 02.04.2020 г.).
6. Конструирование и расчет вагонов: учеб. / В. В. Лукин [и др.]; под ред. П. С. Анисимова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. 688 с.
7. Вагоны: учеб. для вузов железнодорожного транспорта / Л. А. Шадур [и др.]. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1980. 439 с.
8. Zaripov R., Gavrilov P. Research Opportunities to Improve Technical and Economic Performance of Freight Car through the Introduction of Lightweight Materials in their Construction // Procedia Engineering. 2017. Vol. 187. P. 22–29.

9. Правила перевозок жидких грузов наливом в вагонах-цистернах и вагонах бункерного типа для перевозки нефтебитума [Электронный ресурс]: утв. Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества (протокол от 21–22 мая 2009 г. № 50) (ред. от 15–16 окт. 2019 г.). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902165572> (дата обращения: 02.04.2020 г.).

10. ГОСТ 16350–80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. М.: Изд-во стандартов, 2002. 92 с.

11. Устройство мониторинга и диагностики вагона [Электронный ресурс]. URL: <https://ratorm.ru/produksiya/ustrojstvo-monitoringa-i-diagnostiki-vagona> (дата обращения: 15.04.2020 г.).

12. Зайцев А. А., Крылов А. В. Электронное запорно-пломбировочное устройство как основа системы для интеллектуального железнодорожного транспорта // Транспорт Российской Федерации. 2015. № 2 (57). С. 59–62.

13. Monitoring of railway freight vehicles using onboard systems / N. Bosso [et al.] // Procedia Structural Integrity. 2019. Vol. 24. P. 692–705.

14. Ußler H., Michler O., Löffler G. Validation of multiple sensor systems based on a telematics platform for intelligent freight wagons // Transportation Research Procedia. 2019. Vol. 37. P. 187–194.

15. Günay M., Korkmaz M., Özmen R. An investigation on braking systems used in railway vehicles // Engineering Science and Technology: An International Journal. 2020. Vol. 23. No. 2. P. 421–431.

16. FastBrake™ Electronic Air Brake [Электронный ресурс]. URL: <https://www.wabtec.com/products/1435/fastbrake™-electronic-air-brake> (дата обращения: 20.04.2020 г.).

17. Electro-Pneumatic Brakes [Электронный ресурс]. URL: <http://www.railway-technical.com/trains/rolling-stock-index-1/train-equipment/brakes/electro-pneumatic-brakes-d.html> (дата обращения: 20.04.2020 г.).

18. Единая программа и методика организации и проведения подконтрольной эксплуатации новых моделей грузовых вагонов и их составных частей [Электронный ресурс]: утв. Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества (протокол от 26–27 окт. 2016 г. № 65). 39 с. URL: <https://base.garant.ru/71527348/7d5cf3771f79d730d1403758635cbab> (дата обращения: 20.04.2020 г.).

19. Методика расчета расходных ставок для экономической оценки технологий перевозочного процесса в грузовом движении: утв. вице-президентом ОАО «РЖД» В. Г. Лемешко 7 нояб. 2011 г. № 305. 63 с.

20. Методика определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 27 дек. 2007 г. № 2459р. 62 с. URL: <https://jd-doc.ru/2007/dekabr-2007/12704-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-27-12-2007-n-2459r> (дата обращения: 20.04.2020 г.).

21. СТО ОПЖТ 25–2012. Методика расчета экономически обоснованных цен на новые модели грузовых вагонов и комплектующие к ним на основе оценки стоимости жизненного цикла [Электронный ресурс]: утв. решением общего собрания некоммерческого партнерства «Объединение производителей железнодорожной техники» (протокол от 17 фев. 2012 г. № 13). 14 с. URL: <https://opzt.ru/sites/default/files/document/2014/07/341/327.pdf> (дата обращения: 20.04.2020 г.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**ПЕТРОВ Сергей Владимирович**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, НЦ «НПСАП», АО «ВНИИЖТ»

**НАЗАРОВ Игорь Викторович**, заместитель директора НЦ «НПСАП» — начальник отдела «Нетяговый подвижной состав», АО «ВНИИЖТ»

**НАЗАРОВ Олег Николаевич**, канд. техн. наук, заместитель начальника Департамента технической политики, ОАО «РЖД»

Статья поступила в редакцию 05.08.2020 г., принята к публикации 30.09.2020 г.

**Для цитирования:** Петров С. В., Назаров И. В., Назаров О. Н. Целостная модель формирования требований к грузовым вагонам на примере проекта «Северный широтный ход» // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 5. С. 251–260. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-251-260>.

## Holistic model of the formation of requirements for freight cars on the example of the “Northern Latitudinal Railway” project

S. V. PETROV<sup>1</sup>, I. V. NAZAROV<sup>1</sup>, O. N. NAZAROV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Joint Stock Company “Railway Research Institute” (JSC “VNIIZHT”), Moscow, 129626, Russia

<sup>2</sup>Joint Stock Company “Russian Railways” (JSC “RZD”), Moscow, 107174, Russia

**Abstract.** In the context of economic integration, an important factor is increasing the efficiency of rail transport. It depends both on the quality of the transportation process as a whole and on the quality of its individual elements. It is especially worth highlighting the rolling stock, and in particular freight cars, since it is with the car along the route that labor-intensive technological operations are performed, including shunting, technical and commercial maintenance, unscheduled repairs, as well as starting and finishing operations — loading and unloading. Therefore, the efficiency of freight transportation does not depend to a small extent on the quality of cars.

In this regard, the article highlights the results of the development of a holistic model for the formation of requirements for freight cars that increase the efficiency of the transportation process, taking into account the features of specific transportation conditions. In this case, a holistic model is applied to the conditions

for the export of freights from fields in Western Siberia along the routes of the Northern Latitudinal Railway project.

A holistic model for the formation of requirements for the cars of the Northern Latitudinal Railway includes:

- operational and functional model, containing the substantiation of the technical and economic parameters of the cars and the model of their operation ranges, taking into account the technological operations performed;
- reliability model containing justification of the reliability indicators of cars and the parameters of the system of their maintenance and repair;
- model for evaluating and confirming efficiency based on the results of calculating a complex of technical and economic indicators of cars.

The holistic model makes it possible to formulate rational requirements for cars of different levels of specialization for specific

operating conditions. The model also makes it possible to predict the effects of participants in the transportation process when using cars with given characteristics in specific transportation conditions. This contributes to the use of the principles of dynamic pricing of tariffs, depending not only on the type of freight and the region, but also on the route, distance of transportation and other parameters. As a result, the advantages and competitiveness of rail transport will be provided.

**Keywords:** freight cars; quality; reliability; efficiency; technical specifications

**DOI:** <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-251-260>

## REFERENCES

1. Nikanorov P.A. *ISO 9000:2015: govorim pravil'no!* [ISO 9000: 2015: Let's speak right!]. Standarty i kachestvo [Standards and quality], 2016, no. 5 (947), pp. 26–30.
2. Petrov S.V., Raykov G.V., Kornev Yu.V., Karavanova N.B. *Nadezhnost' i funktsional'naya bezopasnost' kak osnovnye sostavlyayushchie kachestva passazhirkikh vagonov* [Reliability and functional safety as the main components of the quality of passenger cars]. Vestnik VNIIZHT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2018, Vol. 77, no. 4, pp. 241–249. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-4-241-249>.
3. Azgaldov G.G., Kostin A.V. *Applied qualimetry: its origins, errors and misconceptions*. Benchmarking: An International Journal, 2011, Vol. 18, no. 3, pp. 428–444.
4. Azgaldov G.G., Kostin A.V., Sadovov V.V. *Kvalimetriya: pervonachal'nye svedeniya. Spravochnoe posobie s primerom dlya ANO "Agentstvo strategicheskikh initsiativ po prodvizheniyu novykh proektov"*. Ucheb. posobie [Qualimetry: initial information. Reference manual with an example for ANO "Agency for Strategic Initiatives to Promote New Projects". Reference book]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2010, 143 p.
5. *Perspektivy zheleznodorozhnykh perezovok gruzov po Severnomu shirotnomu khodu* [Prospects for railway transportation of freights along the Northern Latitudinal Railway]. URL: <https://opzt.ru/wp-content/uploads/2018/04/Vopros-3-Pehterev-F.S.pdf> (retrieved on 02.04.2020) (in Russ.).
6. Lukin V.V., Anisimov P.S., Koturanov V.N. *Design and calculation of cars*. Reference Book. 2<sup>nd</sup> edition, revised and amended. Moscow, FGOU "Educational-methodical center for education in railway transport" Publ., 2011, 688 p.
7. Shadur L.A., Chelnokov I.I., Nikol'skiy L.N., Nikol'skiy E.N., Koturanov V.N., Proskurnev P.G., Kazanskiy G.A., Spivakovskiy A.L., Devyatkov V.F. *Cars. Reference book for universities of railway transport*. 3<sup>rd</sup> edition, revised and amended. Moscow, Transport Publ., 1980, 439 p.
8. Zaripov R., Gavrillov P. *Research Opportunities to Improve Technical and Economic Performance of Freight Car through the Introduction of Lightweight Materials in their Construction*. Procedia Engineering, 2017, Vol. 187, pp. 22–29.
9. *Rules for the carriage of liquid cargo in bulk in tank wagons and bunker wagons for the carriage of oil bitumen*. Approved by the Council for Railway Transport of the Member States of the Commonwealth (Minutes No. 50 dated May 21–22, 2009) (as amended on October 15–16, 2019). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902165572> (retrieved on 02.04.2020) (in Russ.).
10. GOST 16350–80. *Climate of the USSR. Zoning and statistical parameters of climatic factors for technical purposes*. Moscow, Publishing house of standards, 2002, 92 p. (in Russ.).

■ E-mail: [Petrov.S.V@vniizht.ru](mailto:Petrov.S.V@vniizht.ru) (S.V. Petrov)

11. *Ustroystvo monitoringa i diagnostiki vagona* [Device for monitoring and diagnostics of the car]. URL: <https://ratorm.ru/produktiya/ustroystvo-monitoringa-i-diagnostiki-vagona> (retrieved on 15.04.2020) (in Russ.).

12. Zaytsev A.A., Krylov A.V. *Electronic locking and sealing device as the basis of the system for intelligent railway transport*. Transport Rossiyskoy Federatsii, 2015, no. 2 (57), pp. 59–62.

13. Bosso N., Gugliotta A., Magelli M., Zampieri N. *Monitoring of railway freight vehicles using onboard systems*. Procedia Structural Integrity, 2019, Vol. 24, pp. 692–705.

14. Ußler H., Michler O., Löffler G. *Validation of multiple sensor systems based on a telematics platform for intelligent freight wagons*. Transportation Research Procedia, 2019, Vol. 37, pp. 187–194.

15. Günay M., Korkmaz M., Özmen R. *An investigation on braking systems used in railway vehicles*. Engineering Science and Technology: An International Journal, 2020, Vol. 23, no. 2, pp. 421–431.

16. *FastBrake™ Electronic Air Brake*. URL: <https://www.wabtec.com/products/1435/fastbrake™-electronic-air-brake> (retrieved on 20.04.2020).

17. *Electro-Pneumatic Brakes*. URL: <http://www.railway-technical.com/trains/rolling-stock-index-l/train-equipment/brakes/electro-pneumatic-brakes-d.html> (retrieved on 20.04.2020).

18. *Unified program and methodology for organizing and conducting controlled operation of new models of freight cars and their components*. Approved by the Council for Railway Transport of the Member States of the Commonwealth (Minutes dated October 26–27, 2016 No. 65), 39 p. URL: <https://base.garant.ru/71527348/7d5cfd3771f79d730d1403758635cbab> (retrieved on 20.04.2020) (in Russ.).

19. *Methodology for calculating expense rates for the economic assessment of technologies of the transportation process in freight traffic*. Approved by V.G. Lemesheko, Vice-President of the JSC "Russian Railways" dated November 7, 2011 No. 305, 63 p. (in Russ.).

20. *Methodology for determining the cost of the life cycle and the limit price of rolling stock and complex technical systems of railway transport*. Approved by Order of the JSC "Russian Railways" dated December 27, 2007 No. 2459r, 62 p. URL: <https://jd-doc.ru/2007/dekabr-2007/12704-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-27-12-2007-n-2459r> (retrieved on 20.04.2020) (in Russ.).

21. STO OPZHT 25–2012. *Methodology for calculating economically feasible prices for new models of freight cars and components for them based on the assessment of the life cycle cost*. Approved by the decision of the general meeting of the non-profit partnership "Association of manufacturers of railway equipment" (Minutes of February 17, 2012 No. 13), 14 p. URL: <https://opzt.ru/sites/default/files/document/2014/07/341/327.pdf> (retrieved on 20.04.2020) (in Russ.).

## ABOUT THE AUTHORS

**Sergey V. PETROV,**

Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, SC "NPSAP", JSC "VNIIZHT"

**Igor' V. NAZAROV,**

Deputy Director of the SC "NPSAP" — Head of the Department "Non-Traction Rolling Stock", JSC "VNIIZHT"

**Oleg N. NAZAROV,**

Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of the Department of Transport Policy, JSC "RZD"

Received 05.08.2020

Accepted 30.09.2020

**For citation:** Petrov S.V., Nazarov I.V., Nazarov O.N. Holistic model of the formation of requirements for freight cars on the example of the "Northern Latitudinal Railway" project // VNIIZHT Scientific Journal. 2020. 79 (5): 251–260 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-251-260>.