

УДК 629.463

Е. П. ГУРСКИЙ, младший научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МНОГОФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПОТРЕБНОГО ПАРКА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В условиях острой необходимости оздоровления подвижного состава в Республике Беларусь, связанной в основном со старением вагонного парка, необходимо принятие ряда первоочередных мер для выработки стратегии его обновления, в число которых входят: оценка состояния инвентарного парка грузовых вагонов по его количеству и техническому состоянию, а также обоснованный научный прогноз в его потребном количестве. Анализ авторских исследований по вопросу определения потребных рабочих парков показал, что в основном при расчете используется детерминистический подход. Выполненные исследования позволили установить, что для получения прогноза по рабочим паркам с наименьшей ошибкой необходимо учитывать воздействие многих факторов, определяющих его количественное состояние, а также получить расчетные значения рабочего парка грузовых вагонов до 2012 года, которые были учтены и использованы при разработке бизнес-плана Белорусской железной дороги.

Управление активной частью производственных фондов – подвижным составом, а также формирование инвестиционной программы Белорусской железной дороги, планирование уровня развития постоянных устройств, решение других важных стратегических задач невозможно без научного обоснования потребного парка вагонов. Нельзя не отметить, что основной задачей управления грузовыми перевозками является достижение максимальной эффективности функционирования железнодорожного транспорта, обеспечение полного и качественного удовлетворения спроса клиентуры. Очевидно, что без современного и надежного подвижного состава решить эту задачу практически невозможно. Весьма важной на сегодняшний день является и проблема выбора перспективной структуры вагонного парка, который обеспечит заявленный спрос клиентуры. Устаивающийся в техническом отношении вагонный парк, износ которого на сегодняшний день уже достиг 78,8 %, не позволит в перспективе обеспечить заявленный спрос на грузовые перевозки. Это приведет к неэффективному использованию подвижного состава, отказам клиентов от услуг железнодорожного транспорта, переходам на другие виды транспорта и, как результат, потере доходов Белорусской железной дороги. Для решения этих проблем необходимо, в первую очередь, дать объективную оценку имеющемуся в распоряжении Белорусской железной дороге подвижному составу по его количеству и техническому состоянию.

В связи со снижением объемов перевозок в начале 90-х годов значительная часть парка грузовых вагонов оказалась невостребованной, закупки подвижного состава были практически остановлены, вместе с тем происходило естественное сокращение парка грузовых вагонов из-за окончания срока службы.

В начале 2000-х годов наметился явный рост объемов перевозок, грузооборот с 2001 по 2005 годы увеличился на 46,5 % [1]. В условиях устано-

вившейся динамики возрастания грузооборота (примерно 10 % в год) четко стал проявляться дефицит отдельных видов подвижного состава, в первую очередь, цистерн и полувагонов. Из-за убыточности пассажирских перевозок (например, в 1998 г. убытки от внутриреспубликанских и пригородных железнодорожных пассажирских перевозок составили около 61 % от всех видов перевозок [2]) значительную часть денежных средств от доходов с грузовых перевозок необходимо направлять на поддержку пассажирского сообщения, так называемое перекрестное субсидирование. Такое положение приводит к замедлению темпов обновления грузового подвижного состава и других технических средств, а в конечном итоге – к снижению качества перевозок. В основном эти причины явились следствием дефицита грузового вагонного парка.

Анализ показывает, что характерным для вагонного хозяйства Белорусской железной дороги является старение парка грузовых вагонов. В 1992 г. на пятом Совете по железнодорожному транспорту парк грузовых вагонов бывшего МПС СССР был разделен между железнодорожными администрациями. С момента деления парк грузовых вагонов уменьшился приблизительно на 27% [3]. Состояние инвентарного парка грузовых вагонов Белорусской железной дороги на 01.07.2007 г. можно охарактеризовать данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика инвентарного парка грузовых вагонов

Наименование рода вагонов	Средний возраст вагонов	Срок службы вагонов	% износа вагонов	% вагонов с истекшим сроком службы
Крытые	28	32	87,5	33,6
Платформы	29	32	90,6	42,3
Полувагоны	17	22	77,3	40,2
Цистерны	26	32	81,3	40,0
Прочие	25	26	96,2	48,9
ВСЕГО	24	28	78,8	41,0

По данным таблицы видно, что износ основных фондов грузовых вагонов инвентарного парка грузовых вагонов составил 78,8 %, количество вагонов инвентарного парка дороги с истекшим нормативным сроком службы 41,0 % от общего парка. На 31.12.2002 г. и на 01.08.2005 г. эти показатели составляли соответственно: 71,8 и 74,3 %; 27,9 и 39,7%. При разделении вагонного парка средний возраст вагонов инвентарного парка составлял 15,3 года, а на 01.07.2007 г. – 24 года, то есть, чтобы достичь начального среднего возраста, необходимо вложение значительных инвестиций в обновление парка грузовых вагонов. Уменьшение парка вагонов происходит, в основном, за счет исключения его из инвентаря по техническому состоянию. Наибольшую тревогу вызывает техническое состояние цистерн, полувагонов, хопперцементовозов, вагонов, используемых под перевозку калийных и азотных удобрений, технической соли и других агрессивных грузов. Данная часть вагонного грузового парка является наиболее дефицитной, так как более 80 % от общего объема перевозок осуществляется именно этими типами вагонов. Изношенный и стареющий подвижной состав не позволяет перейти на современные перевозочные технологии, увеличить межремонтные сроки, гарантийные плечи пробега, веса поездов, решать многие другие задачи, диктуемые временем, требованиями безопасности движения.

В период структурных преобразований железнодорожного транспорта особое значение и актуальность приобретают вопросы качества транспортного обслуживания клиентов, решение которых возможно на основе научных прогнозов потребности в подвижном составе и эффективности его использования. Очевидно, что эта задача чрезвычайно сложна, и для ее решения нужен тщательный технико-эксплуатационный анализ и на его основе прогноз потребности в грузовых вагонах. Целесообразно также использовать селективные алгоритмы и построенные на их основе прогнозные модели оптимальной сложности.

Анализируя практические результаты формирования рабочего парка грузовых вагонов, можно утверждать, что они являются следствием воздействия многих факторов, как внешних, так и внутренних, определяющих его структуру и количественное состояние. В связи с этим одним из возможных методов прогнозирования является построение корреляционно-регрессионной модели оптимальной сложности.

Непременным условием построения адекватной математической модели является достаточно строгое представление о цели функционирования исследуемой системы, в нашем случае – парка грузовых вагонов. Необходимо также располагать

информацией об ограничениях, которые впоследствии будут определять область допустимых значений управляемых переменных. Естественно, что и цель, и ограничения должны быть представлены в виде функций от управляемых переменных. Целью анализа полученной модели является определение наилучшего управляющего воздействия на объект (парк грузовых вагонов) управления.

Сложность реальных транспортных систем затрудняет представление цели и ограничений в аналитическом виде. Поэтому перед исследователем ставится задача уменьшить «размерность системы». Функционирование любой системы определяется воздействием большого числа факторов. Однако в конечном итоге оказывается, что лишь небольшая их часть является доминирующей и достаточной для получения достоверного прогноза [4, 5].

Получение модели формирования парков грузовых вагонов преследует две основные цели: установить главные факторы, влияющие на их величину, и степень этого влияния. Это позволит наметить первоочередные меры по повышению показателей эффективности работы вагонных парков, спрогнозировать количество рабочего парка и тем самым наметить первоочередные меры по оздоровлению подвижного состава, рационально расходовать средства на закупку подвижного состава, выработать обоснованные решения развития собственной базы индустриального ремонта и производства элементов подвижного состава.

Весьма ответственным этапом прогнозирования является отбор факторов и определение круга показателей, с помощью которых устанавливается их влияние на исследуемый признак. Для определения ряда факторов-аргументов целесообразно использовать индивидуальный и коллективный экспертные методы оценки, основанные на использовании мнений экспертов [5]. В ходе анализа мнений экспертов из рассмотренных факторов были выделены семнадцать наиболее важных показателей работы вагонных парков (таблица 2).

Для каждого рода подвижного состава фактор x_9 рассматривался с учетом номенклатуры перевозимых в них грузов.

Необходимо отметить, что точность прогноза зависит от длины ретроспективного ряда. Она должна быть такой, чтобы до минимума свести влияние «шума», вызванного данными начального периода ряда. При этом не должен быть искажен физический процесс рассматриваемого явления. При таком подходе повышается «вес» информации последних данных временного ряда. В практике исследований зачастую встречается вывод о том, что чем больший объем информации по временному ряду использует исследователь, тем более точный результат он получит. Однако это характерно только для строго стабильных процессов.

Таблица 2 – Показатели работы вагонных парков

Показатель	Обозначение	Фактор
Грузооборот	$\sum Pl$	x_1
Пассажиरोоборот	$\sum al$	x_2
Средняя участковая скорость	$v_{уч}$	x_3
Средняя техническая скорость	$v_{тех}$	x_4
Вес поезда	$P_{п}$	x_5
Оборот вагона	ϑ	x_6
Среднесуточный пробег вагона		x_7
Статическая нагрузка на вагон	$P_{ст}$	x_8
Погрузка	$\sum P$	x_9
Вывоз	$\sum Pl_{\text{вывоз}}$	x_{10}
Коэффициент местной работы	K_m	x_{11}
Коэффициент порожнего пробега,	$K_{пор}$	x_{12}
Среднесуточная производительность вагона	W_v	x_{13}
Средняя динамическая нагрузка на ось	P_d	x_{14}
Работа дороги	U	x_{15}
Средний простой вагона под грузовой операцией		x_{16}
Средний простой вагона на одной технической станции	$T_{ст}$	x_{17}

При нестабильных процессах существует оптимальная длина ретроспективного ряда, при котором не теряется смысл изучаемого явления. Вместе с тем требуется значительно меньший объем работ по хранению, подготовке и обработке исходной информации. Авторские исследования позволили установить, что рациональной протяженностью ретроспективного ряда является длина 10–20 лет [1, 3, 6, 7]. За этот период, начиная с 1993 г., был собран аналитический материал на основе анализа данных форм отчетности: ЦО-1 «Отчет о наличии, распределении, работе и использовании подвижного состава», ЦО-12 «Отчет о перевозке грузов, их пробегах и полученном доходе от тарифных тонно-километров по отделениям дороги», ЦО-22 «Отчет о перевозке пассажиров и доходов от этих перевозок», ГО-2 «Отчет о погрузке по номенклатуре грузов».

Основополагающим моментом при разработке модели является выбор ее оптимальной сложности. Наилучшей является та модель, которая с наименьшим числом факторов описывает процесс с заранее заданной точностью.

Обобщив имеющиеся подходы, выполнив собственные исследования и практические расчеты, предлагаем для условий функционирования Белорусской железной дороги оценивать оптимальность модели с учетом двух критериев. В задачу каждого критерия входит расстановка факторов, влияющих на формирование вагонных парков, по значимости. Самым значимым является тот фак-

тор, который в наибольшей (по сравнению с другими) степени определяет изменение величины рабочего парка.

Два предлагаемых критерия представляют собой:

– парный коэффициент корреляции i -го фактора и рабочего парка грузовых вагонов – $r_{x_i, N}$;

– стандартизованный коэффициент β_i множественной линии регрессии.

С учетом выполненных исследований, весь процесс формирования корреляционно-регрессионной модели оптимальной сложности предусматривает выполнение следующих этапов.

На первом этапе формирования модели путем экспертного оценивания произведен выбор основных семнадцати факторов ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_{17}$), определяющих величину парка грузовых вагонов, каждый из которых описывает работу за 13-летний период (1993–2005 гг.). Для оценки адекватности модели, с учетом анализа статистических данных временных рядов, исходная информация была разбита на несколько выборок: 1994–1998, 1994–1999, 1994–2000, 1994–2001, 1994–2002, 1994–2003, 1994–2004 годы – контролирующие выборки и 1996–2005 годы – обучающая выборка. По ним анализируется сходимость расчетных значений рабочих парков и фактических, находящихся в пределах контролируемой выборки.

В существующей литературе рекомендуется не включать в модель факторы, которые имеют корреляционную взаимосвязь с аргументом на уровне $< 0,75$. Выполненные авторами исследования и полученные результаты подтверждают это, но только для однофакторных моделей. Для многофакторных моделей это не всегда соответствует рекомендациям. Два фактора с индивидуальными коэффициентами корреляции $< 0,50$ могут дать совокупный коэффициент корреляции $> 0,75$. В этом случае мы не рекомендуем снимать с анализа ни одного фактора.

Зачастую при исследовании многофакторных моделей искажение действительной зависимости сопоставляемых переменных может быть обусловлено взаимным влиянием факторных переменных, то есть мультиколлинеарностью. Наличие в модели взаимосвязанных признаков ведет к дублированию влияния одних и тех же факторов на результативный показатель. Вследствие этого коэффициент корреляции между изучаемыми признаками будет завышен. Чтобы избежать потери точности модели, необходимо установить мультиколлинеарные факторы, т. е. такие, которые имеют высокую степень зависимости между собой. За такой уровень рекомендуется принимать значение коэффициента корреляции $r_{(x_i, x_j)} \geq 0,75$ [5].

Для принятия решения о том, какой из факторов следует оставить в модели, необходимо установить и тесноту связи каждого из мультиколлинеарных факторов и исследуемой величины. Если один из сильно коррелируемых факторов имеет более тесную связь с исследуемой величиной и более важен логически, то он остается в модели, а другой отбрасывается. Рассматриваемый процесс по установлению мультиколлинеарных факторов весьма сложный. Поэтому в отдельных случаях для выбора более значимого фактора используются другие критерии (например, наименьшая остаточная дисперсия $S_{\text{ост.}x_i, y_i}^2$).

Для реализации описанного выше процесса строится корреляционная матрица – таблица парных коэффициентов корреляции. Она может

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
x_{17} ,	x_1 ,	x_5 ,	x_{15} ,	x_{10} ,	x_{11} ,	x_{16} ,	x_9 ,	x_6 ,	x_7 ,	x_{13} ,	x_{12} ,	x_8 ,	x_4 ,	x_{14} ,	x_2 ,	x_3 .

В связи с тем, что рассматриваемые факторы имеют различное смысловое значение и их нельзя сравнивать в натуральном выражении, предлагается для ранжировки факторов использовать стандартизованный коэффициент множественной регрессии. Коэффициент β_i указывает, на какую часть среднеквадратического отклонения изменилось бы среднее значение величины рабочего парка, если бы фактор x_i изменился на σ_{x_i} , но при

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
x_1 ,	x_7 ,	x_5 ,	x_{16} ,	x_{15} ,	x_{13} ,	x_{17} ,	x_{11} ,	x_9 ,	x_{10} ,	x_3 ,	x_2 ,	x_6 ,	x_{12} ,	x_8 ,	x_4 ,	x_{14} .

Присваивая соответствующие баллы факторам x_i по данному критерию и суммируя их по двум критериям, в окончательном итоге будем иметь следующий ряд:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
x_1 ,	x_5 ,	x_{17} ,	x_{15} ,	x_{16} ,	x_7 ,	x_{11} ,	x_{10} ,	x_9 ,	x_{13} ,	x_6 ,	x_{12} ,	x_2 ,	x_3 ,	x_8 ,	x_4 ,	x_{14} .

Если в модели оставить все семнадцать факторов, то с учетом полученной остаточной дисперсии мы приняли бы линейную регрессию, которая выглядит следующим образом:

$$N_{\text{раб}} = 67918,63 - 0,792x_1 - 8,235x_5 + 277,814x_{17} + 5,985x_{15} + 284,177x_{16} - 136,134x_7 + 4936,59x_{11} + 529,914x_{10} + 186,573x_9 + 8,238x_{13} + 6343,126x_6 - 26605,7x_{12} - 0,20315x_2 - 16,418x_3 - 285,657x_8 - 964,157x_4 - 834,687x_{14}.$$

Однако, во-первых, наличие мультиколлинеарных факторов не позволяет формировать модель по всем показателям, во-вторых, как было отмечено ранее, наилучшей считается та модель, которая с наименьшим числом факторов описывает процесс с заранее заданной точностью, т. е. является оптимальной.

На основании анализа мультиколлинеарности факторов для формирования многофакторной корреляционно-регрессионной модели оптимальной сложности были включены следующие факторы:

не заполняться ниже диагонали, т. к. симметричные элементы в ней равны между собой. Полученная для рассматриваемого процесса корреляционная матрица позволяет отметить наличие довольно тесных корреляционных связей: грузооборот – работа, рабочий парк – грузооборот, рабочий парк – работа, с коэффициентами корреляции соответственно:

$$r_{x_1, x_{15}} = 0,97, \quad r_{N_{\text{раб}}, x_1} = 0,92, \quad r_{N_{\text{раб}}, x_{15}} = 0,90.$$

Наличие коэффициентов корреляции между рабочим парком и факторами, позволяет выполнить их ранжирование по степени значимости. Фактору с наибольшим коэффициентом корреляции присваивается один балл и т. д.

По критерию – коэффициент корреляции – факторы расположились следующим образом:

этом все остальные факторы остались бы без изменения. При этом представляется возможным произвести направленное формирование модели оптимальной сложности. Это достигается направленным набором факторов, включаемых в модель. Ранжировка факторов по значимости их влияния на рабочий парк начиналась с фактора, коэффициент β при котором наибольший:

x_1 – грузооборот; x_2 – техническая скорость; x_3 – оборот; x_4 – статическая нагрузка; x_5 – динамическая нагрузка.

Таким образом, полученный ряд позволяет перейти к формированию модели. Модель можно формировать, увеличивая количество факторов в ней, начиная от самого значимого, или уменьшая их. При этом из модели исключается первым наименее значимый фактор и т. д. Формирование модели начинается с получения зависимости $Y_i = f(x_{\text{max}})$, где x_{max} – фактор, имеющий мини-

мальную сумму баллов. Для этой функции определяется остаточная дисперсия. Дальнейшее усложнение модели производится включением в нее следующих факторов в зависимости от количества присвоенных баллов при ранжировании. Усложнение (по количеству факторов, включенных в модель) заканчивается тогда, когда выполняются

$$y = f(x_1) \rightarrow y = f(x_1, x_3) \rightarrow y = f(x_1, x_3, x_4) \rightarrow y = f(x_1, x_3, x_4, x_2) \rightarrow y = f(x_1, x_3, x_4, x_2, x_5).$$

Выполненные исследования и полученные результаты позволили установить зависимость вида $y = f(x_1, x_3, x_4)$, для которой по уровню минимальной остаточной дисперсии характерна экспоненциальная зависимость. Совокупный коэффициент корреляции $r_{\text{сов}} = 0,996$ и изменение остаточной дисперсии менее чем на 5 % позволяют дальнейшее усложнение модели не производить. Поэтому данная трехфакторная модель оптимальной сложности выглядит следующим образом:

$$N_{\text{раб}} = 10710,72e^{2,8973 \cdot 10^{-5} x_1 + 0,2758 x_3 - 0,02871 x_4}.$$

В целом сравнение полученных расчетных и фактических значений рабочего парка показывают высокую сходимость этих величин, что доказывает целесообразность применения таких моделей для прогнозирования парка грузовых вагонов. Выполненные исследования позволили получить расчетные значения парка грузовых вагонов за рассматриваемый период, а также прогнозные значения на период до 2012 г. Результаты исследований использованы при разработке бизнес-плана работы дороги на 2006–2010 гг.

Получено 17.09.2007

E. P. Gurski. Ensemble factor to models of the calculation required park freight-car.

In condition of exigence of recovery of the rolling stock in Republic Belarus, is bound basically with diligence parka, necessary taking the row of the priority measures for development to strategies of its renovation, in number which enters: estimation of the condition inventory parka freight-cars on its amount and technical condition, as well as motivated scientific forecast in it necessary amount. The Analysis of the author's studies on question of the determination required worker park has shown that basically at calculation are used averaged approach, founded on data processing on volume of the loading cargo, as well as some factors of the use coach for passed years. The Author is not taken into account probabilistic base of the shaping worker park and influencing factor upon it. The Executed studies have allowed to install that for reception of the forecast on working park with the least mistake necessary to take into account the influence many factor, as external, so and internal, defining its structure and quantitative condition. Executed in this direction of the study, have allowed to get the design values a worker park of the freight-cars before 2012, which can be taken into account and used at development "Program of the renovation park freight-cars of the Belorussian railway".

два условия:

– совокупный коэффициент корреляции $R \geq 0,95$;

– остаточная дисперсия $S_{\text{ост}_n}^2 - S_{\text{ост}_{n+1}}^2 \leq 5\%$.

Усложнение модели производилось по следующей схеме:

Список литературы

- 1 Исследование динамики изменения парка грузовых вагонов за период 1995–2004 годы и расчет прогнозных показателей на период 2006–2010 годы : отчет о НИР / Бел. гос. ун-т тр-та; рук. В. И. Сенько. – Гомель, 2005. – 30 с. – № ГР 20053427.
- 2 Ярошевич, В. П. Совершенствование системы грузовых и пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте / В. П. Ярошевич // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2001. – № 1. – С. 6–14.
- 3 Разработка стратегии обеспечения перевозочного процесса грузовыми и пассажирскими вагонами : отчет о НИР / Бел. гос. ун-т тр-та ; рук. В. И. Сенько. – Гомель, 2005. – 61 с. – № ГР 20031684.
- 4 Сенько, В. И. Совершенствование организации технического обслуживания и текущего ремонта грузовых вагонов / В. И. Сенько. – Гомель : Бел ГУТ, 2002. – 178 с.
- 5 Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М.: Транспорт, 1987. – 247 с.
- 6 Сенько, В. И. Обоснование потребного парка грузовых вагонов по многофакторным моделям оптимальной сложности / В. И. Сенько, Е. П. Гурский // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2002. – № 2. – С. 4–6.
- 7 Гурский, Е. П. Исследование состояния парка грузовых вагонов и определение их потребности на перспективу / Е. П. Гурский // Проблемы безопасности на транспорте: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель, 2002. – С. 77–78.