

УДК 629.463.001.18

В. И. СЕНЬКО, доктор технических наук, Е. П. ГУРСКИЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПАРКА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Важнейшим приоритетом не только для Белорусской железной дороги является освоение возрастающего объема перевозок при гарантированной безопасности движения поездов. Предстоит обеспечить ощутимое повышение массы и скорости движения поездов, увеличение погонных и осевых нагрузок подвижного состава. Для этого необходим современный, надежный подвижной состав. В настоящее время эта проблема, связанная, в первую очередь, со старением парка грузовых вагонов, достаточно остро ощущается на Белорусской железной дороге и нуждается в скорейшем ее решении. Для разработки эффективной стратегии оздоровления и обновления подвижного состава важное значение имеет научно обоснованный прогноз рабочего парка. Разработана математическая модель прогноза рабочего парка грузовых вагонов и получены его расчетные значения на период до 2012 года, которые учтены и использованы при разработке бизнес-плана дороги до 2010 года.

Кризисные явления в экономике в начале 1990-х годов привели к снижению объемов перевозок, в результате чего значительная часть парка грузовых вагонов оказалась не востребовавшей, закупки подвижного состава были практически остановлены, и вместе с тем происходило сокращение парка грузовых вагонов из-за окончания срока их службы.

В условиях установившейся динамики увеличения объемов перевозочной работы стал проявляться дефицит отдельных видов подвижного состава. Это заставило специалистов обратить самое пристальное внимание на активную часть производственных фондов – грузовые вагоны, средний срок службы которых на сегодняшний день составил 24 года [1, 2]. Устаревший в техническом отношении вагонный парк не позволит в перспективе обеспечить заявленный спрос на грузовые перевозки, что приведет к отказам клиентов от услуг железнодорожного транспорта, переходу на другие виды транспорта и, как результат, потере доходов Белорусской железной дороги. Управление активной частью производственных фондов – подвижным составом, а также формирование инвестиционной программы Белорусской железной дороги, эффективное решение других важных стратегических задач невозможно без научного обоснования рабочего парка вагонов. Для решения возникшей проблемы в соответствии с планами НИОКР Белорусской железной дороги были начаты исследовательские работы по обоснованию прогнозных значений рабочего парка. Указанное направление исследования является весьма актуальным, имеет важное научное значение для отрасли и практическое приращение для Белорусской железной дороги.

В первую очередь проведен анализ имеющегося в распоряжении Белорусской железной дороги подвижного состава по его количеству и техническому состоянию. Он показал, что для вагонного хозяйства Белорусской железной дороги характерно старение парка грузовых вагонов.

В 1992 году на V 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 % [2]. Это уменьшение произошло в основном за счет исключения его из инвентаря по техническому состоянию. При разделении вагонного парка средний возраст вагонов инвентарного парка составлял 15,3 года, а сейчас этот показатель равен 24 годам, то есть чтобы достичь начального среднего возраста, необходимо вложение значительных инвестиций (практически 56 % от общей стоимости парка) в обновление подвижного состава. Анализ статистических данных, имеющихся в распоряжении авторов, свидетельствует о том, что количество вагонов инвентарного парка дороги с истекшим нормативным сроком службы составляет 41 % от общего парка. Износ основных фондов грузовых вагонов инвентарного парка на 01.07.2007 г. составил 78,8 %, в том числе: крытые – 87,5; платформы – 90,6; полувагоны – 77,3; цистерны – 81,3; прочие – 96,2 %. Наибольшую тревогу вызывает техническое состояние цистерн, полувагонов, хоппер-цементовозов, 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 ста-

реющий 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.

Анализ мирового опыта и авторские исследования показали, что проблему сохранения вагонного парка и улучшения его технического состояния необходимо решать, в первую очередь, путем повышения качества капитального и деповского ремонтов вагонов, закупки новых вагонов и освоения капитально-восстановительного ремонта с продлением их срока службы. В связи с этим при разработке эффективной стратегии развития вагонного парка Белорусской железной дороги, собственной базы ремонта и производства элементов подвижного состава важное значение имеет научно обоснованный прогноз рабочего парка.

Авторские исследования по вопросу определения потребных рабочих парков свидетельствуют, что при расчете используется, в основном, детерминированный подход, основанный на обработке данных по объемам погрузки грузов, а также некоторых показателей использования вагонов за предшествующие годы [1]:

$$N_p = U\Theta, \quad (1)$$

где U – работа дороги, ваг./сут; Θ – оборот вагона, сут.

Современные направления исследований характеризуются тем, что эксплуатационные процессы носят вероятностный, корреляционный, а не однозначно детерминированный характер. Методы, разработанные в рамках этого подхода, позволяют повысить эффективность принимаемых решений, особенно при разработке стратегических планов развития вагонных парков и вагоноремонтной базы на Белорусской железной дороге. Выполненные исследования позволили установить, что для получения прогноза по рабочим паркам с наименьшей ошибкой необходимо учитывать воздействие многих факторов, как внешних, так и внутренних, определяющих его количественное состояние. В данной постановке задачи необходимо учесть влияние таких показателей, как грузооборот, участковая скорость, вес поезда, оборот, статическая нагрузка, среднесуточная производительность, простои под грузовой операцией и на технической станции и т. д. Наиболее полно в этом случае описывает процесс формирования парка вагонов корреляционно-регрессионная модель 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 [3].

Реальная система имеет два уровня абстракции: упрощенный образ реальной системы и модель. Упрощенный образ реальной системы отличается от системы оригинала тем, что он представляется как результат воздействия доминирующих факторов, которые, в свою очередь, определяют поведение реальной системы. Модель представляет собой наиболее существенные для описания системы соотношения в виде целевой функции и совокупности ограничений. Разработка модели начинается с определения ее назначения и семейства объектов, для анализа работы которых она будет использоваться. В зависимости от назначения модели устанавливаются: требуемый уровень ее надежности, перечень объектов, по которым будет формироваться необходимый объем статистических данных, семейство факторов, определяющих работу системы.

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 единиц рабочего парка и тем самым даст возможность 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, характеризующих величину рабочего парка грузовых вагонов, использован индивидуальный и коллективный экспертные методы

оценки. В ходе оценки мнений экспертов предложен и проанализирован ряд внутренних и внешних факторов, оказывающих влияние на формирование парка. Важным моментом при формировании массива данных является установление 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. Выполненный анализ исследований показал, что рациональной протяженностью временного ряда является 10–20 лет. С учетом обоснованности длины ряда анализу подвергнута динамика изменения парка грузовых вагонов за период 1993–2005 гг. В ходе анализа мнений экспертов из рассмотренных факторов выделены семнадцать наиболее важных показателей работы вагонных парков: грузооборот – X_1 , млн т·км; пассажирооборот – X_2 , млн пас·км; участковая скорость – X_3 , км/ч; техническая скорость – X_4 , км/ч; масса поезда – X_5 , т; оборот вагона – X_6 , сут; среднесуточный пробег – X_7 , км; статическая нагрузка – X_8 , т; погрузка – X_9 , млн т; объем вывоза грузов – X_{10} , млн т·км; коэффициент местной работы – X_{11} ; коэффициент порожнего пробега – X_{12} ; среднесуточная производительность вагона – X_{13} , т·км; динамическая нагрузка – X_{14} , т; работа дороги – X_{15} , ваг./сут; простой вагона под грузовой операцией – X_{16} , ч; простой вагона на технической станции – X_{17} , ч, и за исследуемый период собран массив их статистических данных.

Для статистических оценок влияния различных факторов на рабочий парк вагонов исследованы однофакторные корреляционно-регрессионные зависимости вида

$$N_p = f(x_i), i = 1 \dots 17. \quad (2)$$

Проанализированы следующие зависимости: линейная, экспоненциальная и степенная. Выбор лучшего варианта модели осуществлен по критерию остаточной дисперсии. Оценка степени влия-

ния входящих в модель факторов и тесноты связи произведена соответственно по коэффициенту детерминации и корреляции. По каждому из 17 факторов установлена регрессионная и корреляционная взаимосвязи с рабочим парком грузовых вагонов. Анализ полученных результатов позволил ответить на ряд весьма важных вопросов, в частности, какой вид зависимости из трех исследуемых для функции $N_p = f(X_i)$ является предпочтительным (по минимуму остаточной дисперсии). Таким образом, на начальной стадии разработки многофакторной модели было определено, что на рабочий парк грузовых вагонов некоторые факторы влияют несущественно. Например, связь пассажирооборота с изменением парка грузовых вагонов характеризуется коэффициентом корреляции $r = 0,03$, а $R^2 = 0,002$. И такие факторы при формировании модели оптимальной сложности могут быть учтены, если это потребуется на финальных этапах расчетов.

Важным моментом на начальном этапе прогноза вагонного парка является установление системообразующих факторов. Это позволяет в дальнейшем мультиколлинеарном анализе установить, какой из факторов, имеющий высокий уровень корреляции с другим фактором, оставить для дальнейших исследований, а какой исключить. С этой целью проведены исследования, по результатам которых впервые была сформирована корреляционная матрица и построены 17 моделей системообразующих факторов. На рисунке 1 приведена графическая модель корреляционной взаимосвязи грузооборота с рабочим парком, а также с другими рассматриваемыми факторами. Такой анализ позволил более точно, системно оценить факторы и классифицировать их как конкурентоспособные при синтезе модели оптимальной сложности.

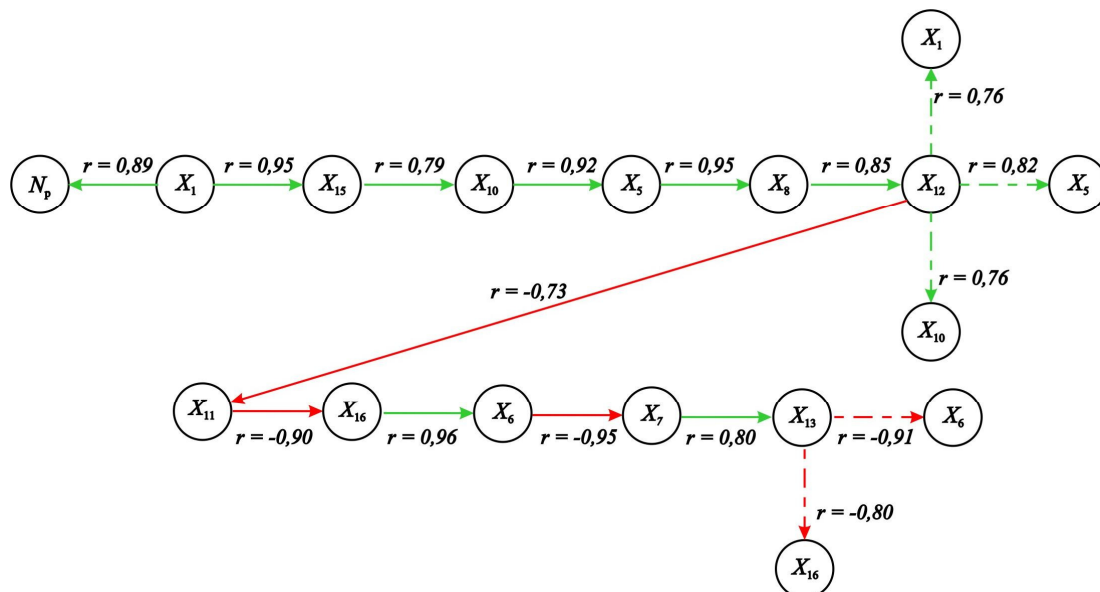


Рисунок 1 – Графическая модель системообразующих факторов в модели прогноза вагонного парка $X_1 \rightarrow X_i$

Предлагаемый подход к анализу факторов позволил оценить степень их влияния на исследуемую величину, отметить общие закономерности в анализируемом процессе и разработать алгоритм построения многофакторной корреляционно-регрессионной модели оптимальной сложности.

Основополагающим моментом при разработке модели является выбор ее оптимальной сложности. При этом необходимо иметь в виду следующие важнейшие положения [4]:

- затраты на создание модели, дающей более точные результаты, растут быстрее, чем сама точность;

- в последовательных и параллельных цепях формирования ошибок моделирования доминирующую роль играет ошибка самого неточного, «грубого» звена;

- рациональный уровень точности модели лежит в границах, которые определяются сочетанием точности исходной информации и вычислительных алгоритмов.

Наилучшей является та модель, которая с наименьшим числом факторов описывает процесс с заранее заданной точностью. Обобщив имеющиеся подходы, выполнив собственные исследования и практические расчеты, предложено для условий функционирования Белорусской железной дороги производить направленное формирование модели с учетом двух критериев. В задачу каждого критерия входит расстановка факторов, влияющих на формирование рабочего парка по значимости. Самым значимым является тот фактор, 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:

- выбор основных факторов ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$), определяющих величину парка грузовых вагонов. Одним из основных требований включения факторов в модель является отсутствие взаимной корреляции;

- расчет коэффициентов корреляции между парком вагонов и факторами, а также факторов между собой. На этом этапе из модели удалялись те факторы, которые имели достаточно большой ($r \geq 0,75$) коэффициент корреляции с оставшимися в модели факторами. В модели оставлялся фактор, который является логически более важным (систе-

мообразующий) и имеет больший коэффициент корреляции между исследуемой величиной и фактором;

- ранжирование факторов по коэффициенту корреляции. Фактору с наибольшим коэффициентом корреляции присваивался один балл и т. д.;

- получение уравнения множественной регрессии, выраженного в стандартизованном виде;

- ранжирование факторов по стандартизованному коэффициенту множественной регрессии. Фактору, который является наиболее значимым по этому критерию, присваивался один балл и т. д.;

- ранжирование факторов по сумме баллов двух критериев – коэффициенту корреляции и стандартизованному коэффициенту множественной регрессии;

- построение модели оптимальной сложности.

Для определения оптимальности сформированной модели использовались два критерия – совокупный коэффициент корреляции R и остаточная дисперсия линии регрессии $S_{\text{ост}}^2$.

Формирование модели начинается с получения зависимости

$$Y_i = f(X_{\min}), \quad (3)$$

где X_{\min} – фактор, имеющий минимальную сумму баллов.

Для этой функции определена остаточная дисперсия. Дальнейшее усложнение модели произведено включением в нее факторов в зависимости от количества присвоенных баллов при ранжировании. Усложнение (по количеству факторов, включенных в модель) заканчивалось тогда, когда выполнялось условие

$$R \geq 0,95, \quad S_{\text{ост } n}^2 - S_{\text{ост } n+1}^2 \leq 5 \%.$$

Выполненные ранее шаги исследования позволили получить многофакторные модели линейного, экспоненциального и степенного видов. Наиболее приемлемой для расчета принята та зависимость, величина остаточной дисперсии которой минимальна, т. е. модель наилучшим образом описывает процесс. Установлены факторы, которые были включены для формирования многофакторной корреляционно-регрессионной модели оптимальной сложности: X_1 – грузооборот; X_2 – техническая скорость; X_3 – оборот вагона; X_4 – статическая нагрузка; X_5 – динамическая нагрузка.

Усложнение модели, согласно алгоритму формирования модели, произведено по следующей схеме:

$$\begin{aligned} y &= f(X_1) \rightarrow y = f(X_1 + X_3) \rightarrow y = \\ &= f(X_1 + X_3 + X_4) \rightarrow f(X_1 + X_3 + X_4 + X_2) \rightarrow \\ &\rightarrow f(X_1 + X_3 + X_4 + X_2 + X_5) \end{aligned}$$

Оптимизационными расчетами установлены эмпирические прогнозные зависимости. В частности, исследования показали, что прогнозный вагонный парк по уровню минимальной остаточной дисперсии наилучшим образом описывается экспоненциальной зависимостью. Определяющими факторами являются грузооборот, оборот, статическая нагрузка. Данная трехфакторная модель оптимальной сложности выглядит следующим образом:

$$N_p = 10710,72e^{2,8973 \cdot 10^{-5} X_1 + 0,2758 X_3 - 0,02871 X_4}$$

Для оценки адекватности модели временные ряды факторов были разбиты на несколько выборок: 1994–1998, 1994–1999, 1994–2000, 1994–2001, 1994–2002, 1994–2003, 1994–2004, 1994–2005 гг. – контрольные выборки и 1996–2005 гг. – обучающая выборка. Затем они анализировались по сходимости расчетных и фактических значений рабочего парка, находящихся в пределах изучаемых выборок. В целом сравнение значений показало высокую сходимость исследуемых величин. Процент расхождения по обучающей выборке $\bar{\%} = 6,6$, а также остаточная дисперсия $S_{\text{ост}}^2 = 21724$ достаточно хорошо согласуются с показателями контрольных выборок ($\bar{\%} = 6,5$ и $S_{\text{ост}}^2 = 22620$), что доказывает целесообразность применения таких моделей для прогнозирования парка грузовых вагонов. По результатам выполненных исследований получены расчетные значения рабочего парка грузовых вагонов за рассматриваемый период, а также прогнозные значения на период до 2012 года.

Рассчитан прогноз возможного недополучения финансовых средств в связи с невыполнением объема работы в планируемом году, вызванным отсутствием необходимого количества вагонов.

Получено 18.07.2008

W. I. Senko, E. P. Gurskiy. Forecasting of freight cars working park.

The most important priority not only for Belorussian railway is a mastering melting volume of transportation under guaranteed safety of the motion train. There is provide appreciable increasing of the mass and velocities of the motion train, increase waited and axial loads of the composition. For this necessary to provide process of transportation modern reliable rolling stock. At present this problem, bound with diligence parka cargo coach in the first place, acute enough costs on Belorussian railway and needs for the most quick its solve decide-thread. For development of the efficient strategy of recovery and renovations of the rolling stock, a scientifically based forecast of a working park is important. It is designed mathematical model for the forecast of a working park of freight-cars and are received its design values for a period of before 2012, which they are accepted to attention and are used at development of the business plan of the functioning the railway before 2010.

Для исследования экономических показателей работы железнодорожного транспорта в Республике Беларусь использован метод расходных ставок. Полученные результаты показали, что вследствие невыполнения объема работы в планируемом 2008 году недополучение финансовых средств по дороге может составить примерно 33 млн у. е.

Таким образом, полученные прогнозные значения рабочего парка грузовых вагонов, а также показателей, характеризующих эффективность его использования в перевозочном процессе, позволяют плановым службам Белорусской железной дороги иметь ясную перспективу динамики их изменения, а оперативным службам наметить первоочередные мероприятия по выведению их на более качественный уровень, разработать эффективную стратегию управления важнейшим ресурсом – подвижным составом, инновационные проекты развития активной части фондов Белорусской железной дороги, а в конечном счете, повысить эффективность перевозочного процесса.

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 3931 (заключ.) / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. В. И. Сенько. – Гомель, 2005. – 30 с. – № ГР 20053427.
- 2 Разработка стратегии обеспечения перевозочного процесса грузовыми и пассажирскими вагонами : отчет о НИР 3026 (заключ.) / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. В. И. Сенько. – Гомель, 2005. – 61 с. – № ГР 20031684.
- 3 **Сенько, В. И.** Совершенствование организации технического обслуживания и текущего ремонта грузовых вагонов / В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 178 с.
- 4 **Правдин, Н. В.** Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1987. – 247 с.