

УДК 629.463.001.18

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОТРЕБНОГО ВАГОННОГО ПАРКА

В. И. СЕНЬКО, Е. П. ГУРСКИЙ

*Учреждение образования «Белорусский государственный
университет транспорта», г. Гомель*

Введение

Сложная экономическая обстановка 1990-х гг. привела к снижению объемов перевозок на железнодорожном транспорте, в результате значительная часть парка грузовых вагонов оказалась невостребованной, закупки подвижного состава были практически остановлены, и вместе с тем происходило исключение грузовых вагонов из инвентарного парка из-за окончания их срока службы. С начала 2000-х гг. в Республике Беларусь наблюдается стабильный рост перевозочной работы, что вызвало 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 потребного вагонного парка. Для решения возникшей проблемы в соответствии с планами НИОКР Белорусской железной дороги были начаты исследовательские работы по обоснованию прогнозных значений потребного парка грузовых вагонов.

Постановка задачи

Цель работы – разработка математической модели долгосрочного прогноза количества потребного парка грузовых вагонов, для устойчивого и эффективного обеспечения перевозочного процесса надежным подвижным составом. Для достижения указанной цели ставились следующие задачи:

- оценка состояния вагонного парка Белорусской железной дороги;
- анализ существующих подходов к расчету потребного парка;
- определение, сбор и исследование факторов, влияющих на формирование вагонного парка;
- сравнительная оценка применения различных математических моделей для прогнозирования потребного парка и определяющих его факторов;
- разработка математической модели;
- расчет прогнозных значений потребного парка и выработка стратегии оздоровления и обновления подвижного состава.

Решение задачи

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 г. на 5-м Совете по железнодорожному транспорту парк грузовых вагонов бывшего МПС СССР был разделен между железнодорожными администрациями. С момента разделения парк грузовых вагонов уменьшился приблизительно на 27 % [2]. При разделении вагонного парка средний возраст вагонов инвентарного парка составлял 15,3 года, а сейчас этот показатель равен 24 годам, т. е., чтобы достичь начального среднего возраста, необходимо вложение значительных инвестиций (практически 56 % от общей стоимости парка) в обновление подвижного состава. Анализ статистических данных (таблица) 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 являются 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.

Характеристика инвентарного парка

Род вагонов	Средний возраст вагонов, лет	Срок службы вагонов, лет	Процент износа вагонов	Процент 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
<i>Всего</i>	24	28	78,8	41,0

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 необходим научно обоснованный прогноз потребного вагонного парка.

Исследования, проведенные по вопросу определения потребных вагонных парков, свидетельствуют о том, 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]:

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

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 многофакторная корреляционно-регрессионная модель оптимальной сложности. Модель представляет собой наиболее существенные для описания системы соотношения в виде целевой функции и совокупности ограничений, а целью анализа полученной модели является определение наилучшего управляющего воздействия на объект (парк грузовых вагонов) управления. 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].

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. За исследуемый период собран массив их статистических данных.

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

$$N_p = f(x_i), \quad (2)$$

где $i = 1, \dots, 17$.

Проанализированы следующие зависимости: линейная, экспоненциальная и степенная. Выбор лучшего варианта модели осуществлен по критерию остаточной дисперсии. Оценка степени влияния 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 финишных этапах расчетов.

Важным моментом на начальном этапе прогноза вагонного парка является установление системообразующих факторов. Это позволяет в дальнейшем мультиколлинearном 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 рис. 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.

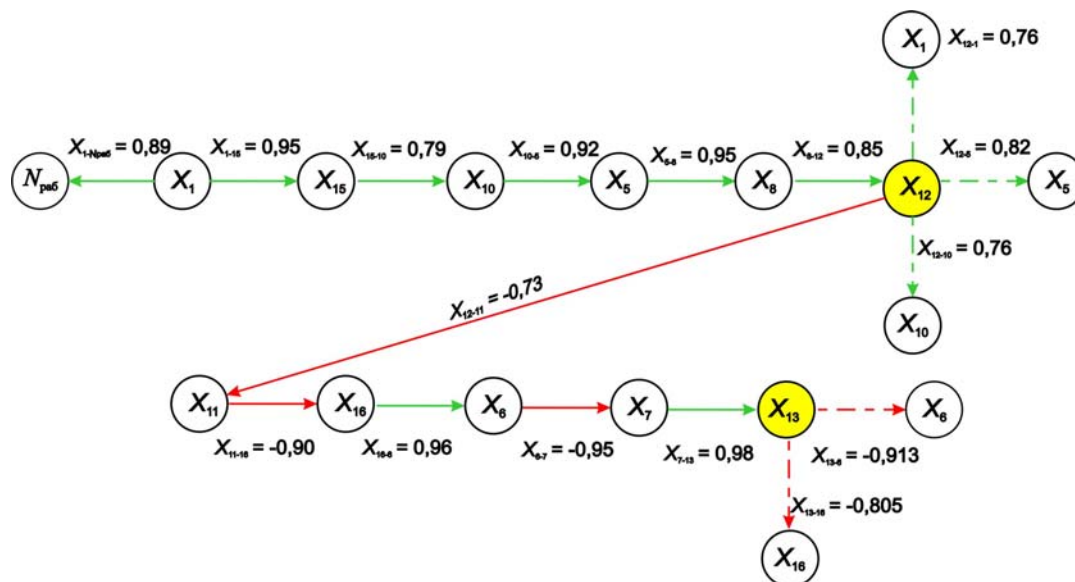


Рис. 1. Графическая модель системообразующих факторов в модели прогноза вагонного парка $X_1 \rightarrow X_i$

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. 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 b_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 (системообразующий) 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 выполняется условие

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

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:

$$y = f(X_1) \rightarrow y = f(X_1, X_3) \rightarrow y = f(X_1, X_3, X_4) \rightarrow \\ \rightarrow y = f(X_1, X_3, X_4, X_2) \rightarrow y = f(X_1, X_3, X_4, X_2, X_5).$$

Выполненные оптимизационные расчеты позволили установить 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 [5]:

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

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 г.

Рассчитан прогноз возможного недополучения финансовых средств в связи с невыполнением объема работы в планируемом году, вызванным отсутствием необходимого количества вагонов. Для исследования экономических показателей работы железнодорожного транспорта в Республике Беларусь использован метод расходных ставок. Полученные результаты показали, что вследствие невыполнения объема работы в планируемом 2010 г. недополучение финансовых средств по дороге может составить более 10 млн у. е.

Заключение

Разработана математическая модель долгосрочного прогноза количественных характеристик парка грузовых вагонов на основе анализа выборочной совокупности статистических данных о работе железной дороги, что впервые позволило учесть многопараметрический характер перевозочного процесса и повысить точность вычислений.

Получены расчетные значения численности парка грузовых вагонов на заданный горизонт прогнозирования и закономерности ее изменения с учетом количественных и качественных характеристик перевозочного процесса.

Установлены эмпирические зависимости для формирования массива значений системообразующих параметров, которые являются исходными данными при расчетах по разработанной математической модели.

Результаты исследований использованы службой вагонного хозяйства и плановой службой Белорусской железной дороги при разработке прогноза по парку грузовых вагонов и вошли в «Программу развития Белорусской железной дороги до 2010 г.», утвержденную Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22.01.1999 г., а также при разработке бизнес-плана Белорусской железной дороги до 2010 г., реализация которого позволит повысить эффективность использования грузового подвижного состава и всей инфраструктуры, обеспечивающей его функционирование.

Литература

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 транспорта ; 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 транспорта ; 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. – Москва : Транспорт, 1987. – 247 с.
5. Гурский, Е. П. Многофакторная модель расчета потребного парка грузовых вагонов / Е. П. Гурский // Вестн. БелГУТа. – 2007. – № 1–2. – С. 90–94.

Получено 23.10.2009 г.