

- выбор параметров (в том числе и структурных) технических средств и профессиональных характеристик персонала, обеспечивающих нормированный уровень безопасности;
- установление новых закономерностей и явлений в практике работы транспортных систем, которые оказывают существенное влияние на безопасность;
- создание теории таксономии опасных состояний;
- формирование основ экономики безопасности и установление ее взаимосвязи со сложнейшими вероятностно-детерминированными процессами, протекающими в транспортных системах.

4 Особое значение для гармонизации распределения ресурсов, рационального размещения и количества пожарных и восстановительных поездов, решения целого ряда других вопросов имеют методы оценки структурной безопасности транспортных систем. Они находятся только в начальной стадии своего развития, хотя уже сегодня дают возможность проранжировать элементы структур (например, железнодорожных узлов, полигонов сети и других систем) по их структурной важности.

5 Особую роль в развитии теории безопасности транспортных систем могут сыграть прогнозные модели оптимальной сложности, позволяющие установить набор факторов и функцию, некоторое предельное значение которой является пороговой величиной, за ней происходит нарушение безопасности.

6 В современных условиях теория безопасности транспортных систем должна неизбежно учитывать экономические последствия браков, аварий, крушений. Сегодня стоимость крушения, аварии, брака (в традиционной терминологии) явно занижается. В отдельных случаях величина ошибки достигает 500–8000 %. Это приводит к тому, что многие достижения НТП, направленные на повышение безопасности транспортных систем, признаются экономически необоснованными и не применяются на практике.

УДК 656.224 (-214)

## **ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗОК В КРУПНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛАХ**

*В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта*

Пригородная маршрутная сеть Белорусской железной дороги в настоящее время охватывает свыше 2000 населенных пунктов, обслуживание населения обеспечивается на 360 станциях и свыше 550 остановочных пунктах. Удельный вес количества перевезенных пассажиров в пригородном сообщении составляет порядка 90 % от общего объема. Анализ финансовых показателей работы Белорусской железной дороги показывает, что пригородные перевозки нерентабельны. Финансовых средств не хватает не только на покрытие эксплуатационных расходов, но и на содержание и развитие станционных пассажирских устройств, обновление подвижного состава. Покрытие части расходов осуществляется за счет рентабельных грузовых и межгосударственных пассажирских перевозок.

В последнее время все отчетливо заметны тенденции как снижения объемов перевозок пригородных пассажиров, так и изменения их структуры. Если в начальный период пригородная маршрутная сеть создавалась для обеспечения проезда населения к местам работы, то с развитием садоводческих товариществ вокруг крупных городов, ростом сервисных услуг и внутреннего туристического бизнеса она все больше используется и для культурно-бытовых поездок. Анализ динамики изменения количества перевезенных пассажиров по годам за период 1990–2006 гг. показал, что она имеет сложный характер. Так, имеются пики и спады спроса на перевозки: пики перевозок наблюдались в 1993 и 1999–2000 гг.; спады – в 1991, 1996 и 2006 гг. соответственно. В 2006 г. произошло резкое снижение количества перевезенных пригородных пассажиров по отношению к 2005 г. (примерно на 40 млн человек) и достигло наименьшего уровня за 1990–2006 гг. – 83,2 млн человек. Максимальная амплитуда колебаний перевозок в рассматриваемом периоде составляла 30–40 млн человек, имеется и сильная внутригодичная периодичность (сезонность) с пиками в

мае, июле и минимумами в феврале каждого года, другие временные и пространственные неравномерности. В целом можно считать, что пригородные перевозки подвержены циклическим изменениям (длина цикла нестабильна и может составлять 3–5 лет) ступенчатого характера. Несмотря на снижение объемов пригородных перевозок, для крупных железнодорожных узлов Белорусской железной дороги их обеспечение будет оставаться важной задачей и в перспективе.

В сложившихся условиях для проверки соответствия параметров станционных обустройств обслуживания пригородных пассажиров и размеров пассажирского пригородного движения прогнозной величине спроса на пригородные перевозки, мониторинга его количественного изменения и поддержки принятия решений с целью снижения эксплуатационных расходов, повышения рентабельности перевозок и экономической безопасности дороги целесообразно использовать гибкие динамические модели прогнозирования пригородных перевозок (модели Бокса-Дженкинса), построение которых базируется на автокорреляционном анализе данных.

Так, установлено, что для прогнозирования циклов изменения спроса на пригородные перевозки в крупных железнодорожных узлах достаточно применять авторегрессионные модели второго порядка (таблица 1). При этом обнаружено, что для рассматриваемых узлов динамика изменения спроса на пригородные перевозки имеет схожий характер.

Таблица 1 – Параметры циклических моделей прогнозирования пригородных перевозок класса AP(p)

Железнодорожный узел	Исследуемый период, годы	Модель	Уравнение модели
Минск	1991–2003	Авторегрессия 2-го порядка AP(2)	$\Pi_t = 7,99 \cdot 10^6 + 1,40\Pi_{t-1} - 0,79\Pi_{t-2} + \varepsilon_t$
Гомель	1985–2003	AP(2)	$\Pi_t = 5,66 \cdot 10^6 + 0,87\Pi_{t-1} - 0,75\Pi_{t-2} + \varepsilon_t$
Брест	1993–2003	AP(2)	$\Pi_t = 1,58 \cdot 10^7 + 0,78\Pi_{t-1} - 0,93\Pi_{t-2} + \varepsilon_t$
Витебск	1999–2005	–	Недостаточно данных
Всего по дороге, млн пас.	1990–2006	AP(2) (неустойчивая)	$\Pi_t = 113,748 + 0,65\Pi_{t-1} - 0,50\Pi_{t-2} + \varepsilon_t$

Применение динамических моделей позволяет достаточно точно прогнозировать сезонную составляющую пригородных перевозок. Параметры таких моделей также устанавливаются с помощью автокорреляционного анализа с применением автокорреляционных (АКФ) и частных автокорреляционных (ЧАКФ) функций. При этом необходимо использовать разностные преобразования рядов. Так, АКФ временного ряда, содержащего значения количества отправленных пассажиров в пригородном сообщении по месяцам показывает, что последовательные значения временного ряда, как правило, тесно взаимосвязаны, так как значимы значения АКФ, соответствующие 1–4 лагам. Также высокосignификантными являются коэффициенты АКФ, кратные 12 периодам, что соответствует сезонной зависимости между значениями пассажиропотока, полученными с интервалом, равным 12 месяцев.

Параметры построенных сезонных моделей прогнозирования пригородных перевозок в железнодорожных узлах класса АРПСС («авторегрессионное проинтегрированное скользящее среднее» или ARIMA) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры сезонных моделей прогнозирования пригородных перевозок класса АРПСС(p,d,q)(p\_s,d\_s,q\_s)

Железнодорожный узел	Исследуемый период, годы	Модель	Уравнение модели
Минск	1998–2003	АРПСС(0,1,0)(0,1,3) <sub>12</sub>	$\Delta\Delta_{12}\Pi_t = \varepsilon_t - \Omega_1\varepsilon_{t-12} - \Omega_2\varepsilon_{t-24} - \Omega_3\varepsilon_{t-36}$
Гомель	2000–2003	АРПСС(0,1,0)(0,1,0) <sub>12</sub>	$\Delta\Delta_{12}\Pi_t = \varepsilon_t$
Брест	1993–2003	АРПСС(0,1,1)(0,1,1) <sub>12</sub>	$\Delta\Delta_{12}\Pi_t = \varepsilon_t - \omega_1\varepsilon_{t-1} - \Omega_1\varepsilon_{t-12}$
Могилев	2000–2003	АРПСС(0,1,1)(0,1,0) <sub>12</sub>	$\Delta\Delta_{12}\Pi_t = \varepsilon_t - \omega_1\varepsilon_{t-1}$
Витебск	1999–2005	АРПСС(0,1,1)(0,1,1) <sub>12</sub>	$\Delta\Delta_{12}\Pi_t = \varepsilon_t - \omega_1\varepsilon_{t-1} - \Omega_1\varepsilon_{t-12}$

В таблице 2  $\Delta\Delta_{12}\Pi_t$  обозначает разность первого порядка сезонных разностей с периодом, равным 12 месяцам. При этом последовательность вычисления разностей не имеет значения:

$$\Delta\Delta_{12}P_t = \Delta(\Delta_{12}P_t) = \Delta(P_t - P_{t-12}) = (P_t - P_{t-12}) - (P_{t-1} - P_{t-13}) = P_t - P_{t-1} - P_{t-12} + P_{t-13}$$

$$\text{или } \Delta_{12}\Delta P_t = \Delta_{12}(\Delta P_t) = \Delta_{12}(P_t - P_{t-1}) = (P_t - P_{t-1}) - (P_{t-12} - P_{t-13}) = P_t - P_{t-1} - P_{t-12} + P_{t-13}.$$

$$\text{Отсюда } P_t = P_{t-1} + P_{t-12} - P_{t-13}.$$

Так, с учетом  $\varepsilon_t \rightarrow 0$  в  $t$ -м периоде для Минского железнодорожного узла  $P_t = P_{t-1} + P_{t-12} - P_{t-13} - 0,672265\varepsilon_{t-12} - 0,761399\varepsilon_{t-24} + 0,633287\varepsilon_{t-36}$  (коэффициент неравномерности для мая, июня – августа  $K_n = 1,1 \dots 1,5$ );

$$\text{Гомельского} - P_t = P_{t-1} + P_{t-12} - P_{t-13};$$

$$\text{Брестского} - P_t = P_{t-1} + P_{t-12} - P_{t-13} - 0,440104\varepsilon_{t-1} - 0,91433\varepsilon_{t-12};$$

$$\text{Могилевского} - P_t = P_{t-1} + P_{t-12} - P_{t-13} - 0,492905\varepsilon_{t-1};$$

$$\text{Витебского} - P_t = P_{t-1} + P_{t-12} - P_{t-13} - 0,463251\varepsilon_{t-1} - 0,818863\varepsilon_{t-12}.$$

Выполненные исследования дают возможность сделать следующие основные выводы:

1 Динамические модели позволяют прогнозировать поведение данных, имеющих сложные внутренние взаимосвязи, временную неравномерность и нестабильное состояние, какими и являются пригородные перевозки, с высокой точностью, особенно на краткосрочный период, что подтверждено проверкой на контрольной последовательности значений за период 2004–2006 гг. Однако для построения таких моделей требуется значительное количество наблюдений, при появлении новых ретроспективных значений модели требуется перестраивать.

2 В то же время динамические модели, как и другие модели, основанные на формализованных методах, не позволяют прогнозировать качественные изменения показателей, однако в режиме мониторинга при анализе помесечных данных количества отправленных пассажиров в пригородном сообщении такие изменения могут быть своевременно обнаружены и построены адекватные модели.

3 На основе циклических и сезонных моделей АРПСС разрабатываются совмещенные сезонные модели с наложенными циклическими флуктуациями, а в перспективе – и трендовыми составляющими, что также позволит повысить точность прогнозирования. Такие модели обладают изменяемой вариабельностью прогнозных значений в зависимости от фазы цикла.

4 Для различных уровней управления могут разрабатываться модели по суммарным данным (управление дороги), по участкам, железнодорожным узлам и станциям (отделения дороги). Это даст возможность заблаговременно подготовиться к возможным затруднениям при реализации решений, производить их оценку и повысить качество обслуживания пассажиров.

УДК 629.4.077

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПУТИ ПОДГОТОВКИ К ТОРМОЖЕНИЮ

В. Я. НЕГРЕЙ, Г. В. ЧИГРАЙ

*Белорусский государственный университет транспорта*

Повышение скоростей движения пассажирских и грузовых поездов ставит одновременно и задачу повышения эффективности тормозов подвижного состава для обеспечения нормативной длины тормозного пути и безопасности движения.

Для обеспечения безопасного режима функционирования высокоскоростных магистралей важное значение имеет правильный выбор длины остановочного пути, на основе которого осуществляется расстановка устройств автоблокировки, выбираются режимы проектирования локомотивной сигнализации и другие важнейшие параметры линии.

В рамках существующих методов расчета пути подготовки к торможению исходят из детерминированной природы протекающих процессов. В частности, допускается, что время реакции машиниста является детерминированной величиной и не зависит от целого ряда факторов. Еще более