$\Delta\Delta_{12}\Pi_t = \Delta(\Delta_{12}\Pi_t) = \Delta(\Pi_t - \Pi_{t-12}) = (\Pi_t - \Pi_{t-12}) - (\Pi_{t-1} - \Pi_{t-13}) = \Pi_t - \Pi_{t-1} - \Pi_{t-12} + \Pi_{t-13}$

или $\Delta_{12}\Delta\Pi_t = \Delta_{12}(\Delta\Pi_t) = \Delta_{12}(\Pi_t - \Pi_{t-1}) = (\Pi_t - \Pi_{t-1}) - (\Pi_{t-12} - \Pi_{t-13}) = \Pi_t - \Pi_{t-1} - \Pi_{t-12} + \Pi_{t-13}$.

Отсюда $\Pi_t = \Pi_{t-1} + \Pi_{t-12} - \Pi_{t-13}$.

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

Гомельского – $\Pi_t = \Pi_{t-1} + \Pi_{t-12} - \Pi_{t-13}$;

Брестского – $\Pi_t = \Pi_{t-1} + \Pi_{t-12} - \Pi_{t-13} - 0{,}440104\varepsilon_{t-1} - 0{,}91433\varepsilon_{t-12}$;

Могилевского – $\Pi_t = \Pi_{t-1} + \Pi_{t-12} - \Pi_{t-13} - 0{,}492905\varepsilon_{t-1}$;

Витебского – $\Pi_t = \Pi_{t-1} + \Pi_{t-12} - \Pi_{t-13} - 0{,}463251\varepsilon_{t-1} - 0{,}818863\varepsilon_{t-12}$.

Выполненные исследования дают возможность сделать следующие основные выводы:

1 Динамические модели позволяют прогнозировать поведение данных, имеющих сложные внутренние взаимосвязи, временну̀ю 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 помесячных 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 узам 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 серьезные допущения принимаются в отношении времени срабатывания автотормозов. В действительности указанные параметры подвержены существенным колебаниям, которые носят вероятный характер. Об этом говорят многочисленные эргономические и технические эксперименты, выполненные как на транспорте, так и в других отраслях науки и техники.

Тормозной путь

$$S_{т} = S_{п} + S_{д}, \tag{1}$$

где $S_{п}$ – путь подготовки к торможению, м; $S_{д}$ – действительный путь торможения, м.

Путь подготовки к торможению

$$S_{п} = \frac{v_{т} e_{п}}{3{,}6} = 0{,}278\, v_{т} t_{п}, \tag{2}$$

где $v_{т}$, $t_{п}$ – соответственно скорость начала торможения, км/ч, и время подготовки к торможению, с.

Время подготовки к торможению состоит из времени реакции машиниста $t_{р}$ и времени срабатывания тормозов $t_{ср}$:

$$t_{п} = t_{р} + t_{ср}. \tag{3}$$

Исследованиями установлено, что время реакции может изменяться в достаточно широких пределах от 0,4 до 1,2 с и распределено по нормальному закону с математическим ожиданием 0,8 с и среднеквадратическим отклонением 0,14 с. Продолжительность срабатывания тормозов существенно зависит от количества осей в поезде, крутизны спуска и удельный тормозной силы. Очевидно, что масса состава, сумма расчетных нажатий на тормозные колодки и другие факторы существенно отклоняются от своих средних значений. Поэтому в силу известных положений теории вероятностей распределение колебаний величины $t_{ср}$ можно допустить нормальным, т. е.

$$P(t_{ср}) = \frac{1}{\sigma_{ср}\sqrt{2\pi}} \exp - \left[\frac{(\bar{t}_{ср} - t_{ср})^2}{2\sigma_{ср}^2} \right]. \tag{4}$$

Применяя к выражению (4) сверстку Лапласа, легко показать, что распределение суммы величин $t_{р}$ и $t_{ср}$ также будет описываться нормальным законом распределения с математическим ожиданием $\bar{t}_{п} = \bar{t}_{р} + \bar{t}_{ср}$ и средним квадратическим отклонением $\sigma_{п} = \sqrt{\sigma_{р}^2 + \sigma_{ср}^2}$, т. е.

$$P(t_{п}) = \frac{1}{\sigma_{п}\sqrt{2\pi}} \exp - \left[\frac{(\bar{t}_{п} - \bar{t}_{р} - \bar{t}_{ср})^2}{2\sigma_{ср}^2} \right], \tag{5}$$

где $\bar{t}_{р}$, $\bar{t}_{ср}$ – средние значения, соответственно, времени реакции машиниста и времени срабатывания автотормозов, с.

Анализируя (4), приходим к выводу, что величина $S_{т}$ также является случайной. Обозначив в (2) величину 0,278 $v_{т} = a$, легко показать, что закон распределения величины $S_{п}$ запишется в виде

$$P(S_{п}) = \frac{1}{a\sigma_{п}\sqrt{2\pi}} \exp - \left[\frac{(S_{п} - a\bar{t}_{п})^2}{2a^2\sigma_{п}^2} \right]. \tag{6}$$

Полученное выражение показывает, что случайная величина $S_{п}$ также подчиняется нормальному закону распределения с параметрами $\bar{S}_{п} = a\bar{t}_{п}$, $\sigma_{sп} = a\sigma_{п}$.

Исследования показали, что игнорирование случайных колебаний расчетных параметров приводит к занижению пути подготовки к торможению на 60–120 м и может привести систему к опасному состоянию. Это положение имеет принципиальное значение при выборе наибольших скоростей грузовых поездов по условиям торможения. Особое внимание к расчету данного параметра должно уделяться в кривых участках пути, участках с ограниченной видимостью, где «цена» ошибки в оценке длины тормозного пути значительно выше.