

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 656.225.04

В. Я. НЕГРЕЙ, доктор технических наук, К. М. ШКУРИН, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

Рассмотрены теоретические предпосылки использования вероятностных методов анализа параметров перевозочного процесса. Выполнены исследования влияния технической скорости движения грузовых поездов на участковую и колебаний среднесуточного количества грузовых поездов на направлении Витебск – Гомель Белорусской железной дороги. Дана оценка влияния увеличения тягового плеча локомотива на время движения поезда.

Развитие транспортных систем связано с возрастанием роли систем обработки информации, объем которой возрастает с каждым годом. Для поддержания функционирования транспортной системы и принятия эффективных управленческих решений необходимо анализировать множество качественных и количественных показателей: данные об объемах перевозок, измерители, характеризующие эффективность использования транспортных средств, затраты на эксплуатацию существующих и создание новых путей сообщения и многое другое.

Задача анализа параметров транспортной системы значительно усложняется тем, что перевозочному процессу объективно присуща неравномерность. Суточное количество грузовых поездов, вагонов, грузов, пассажиров, поступающих в транспортные системы в единицу времени, является величиной переменной, колеблющейся в широких пределах. Переменны как интервалы между моментами поступления поездов в транспортную систему, так и время выполнения производственных операций в перевозочном процессе.

Колебания потока вагонов, поступающих на станцию, являются результатом воздействия большого числа различных факторов. Среди них – неравномерность выпуска продукции предприятиями и неравномерность ее предъявления к перевозке, погрузка и выгрузка вагонов грузовладельцами только в рабочие дни недели (или) в дневное время суток.

Можно выделить два подхода, нашедших практическое применение в исследовании транспортных систем: изучение показателей перевозочного процесса как детерминированных и как вероятностных величин.

При исследовании показателей перевозочного процесса как детерминированных величин между отдельными показателями устанавливается функциональная зависимость, позволяющая однозначно предсказать поведение одного из показателей при изменении других.

Вероятностный подход отличается большей объективностью. В этом случае транспортный поток рассматривается как случайный процесс. Например, распределение временных интервалов между поездами может приниматься не строго определенным, а случайным.

Важную роль в описании случайных процессов играют параметры, характеризующие зависимость между случайными величинами, – *корреляционный момент и коэффициент корреляции*.

Корреляционным моментом случайных величин называют математическое ожидание произведения отклонений этих величин от своих математических ожиданий.

Коэффициент корреляции случайных величин представляет собой отношение корреляционного момента к произведению средних квадратических отклонений этих величин.

Корреляционный момент и коэффициент корреляции характеризуют степень линейной зависимости между двумя величинами. Нулевое значение данных характеристик указывает на отсутствие линейной зависимости между исследуемыми величинами. Равенство коэффициента корреляции единице говорит о положительной линейной функциональной зависимости между величинами; если же коэффициент равен -1 , то между величинами существует отрицательная линейная функциональная зависимость.

Установление наличия или отсутствия взаимосвязи между рассматриваемыми величинами играет важную роль в прогнозировании развития транспортных систем, позволяя определить, каким образом будут изменяться параметры системы при её модифицировании.

Приведем ряд примеров использования вероятностных методов в анализе различных параметров перевозочного процесса. В качестве исходных данных были использованы сведения о движении грузовых поездов на направлении Витебск – Гомель в первом квартале 2013 года.

1 Анализ зависимости участковой скорости движения грузовых поездов от их технической скорости.

При установлении норм массы и скорости грузовых поездов важную роль играет участковая скорость $\bar{v}_{уч}$, во многом зависящая от технической скорости $\bar{v}_{тех}$. На основе участковой скорости определяется время оборота вагонов и локомотивов, их рабочий и эксплуатируемый парк, количество локомотивных бригад, а также связанные с ними денежные затраты.

Анализ различных моделей взаимозависимости участковой и технической скоростей на направлении Витебск – Гомель, выполненный при помощи программного пакета Statgraphics, показал, что наибольшие значения коэффициента корреляции между данными параметрами r достигаются при применении следующих моделей (рисунки 1–3):

1) линейная зависимость (коэффициент корреляции $r = 0,829024$):

$$\bar{V}_{\text{уч}} = -7,9658 + 1,07868\bar{V}_{\text{тех}}; \quad (1)$$

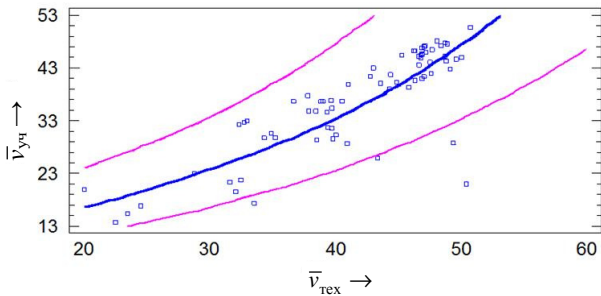


Рисунок 1 – Линейная зависимость участковой скорости от технической

2) функция с квадратным корнем (коэффициент корреляции $r = 0,831835$):

$$\bar{v} = (-1,47658 + 1,16687\sqrt{\bar{v}}); \quad (2)$$

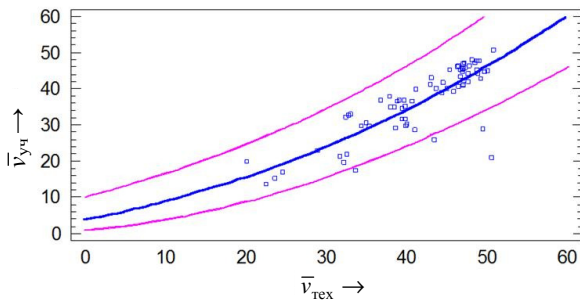


Рисунок 2 – Зависимость участковой скорости от технической – функция с квадратным корнем

3) экспоненциальная функция (коэффициент корреляции $r = 0,831637$):

$$\bar{v} = \exp(0,828386 + 0,426489\sqrt{\bar{v}}). \quad (3)$$

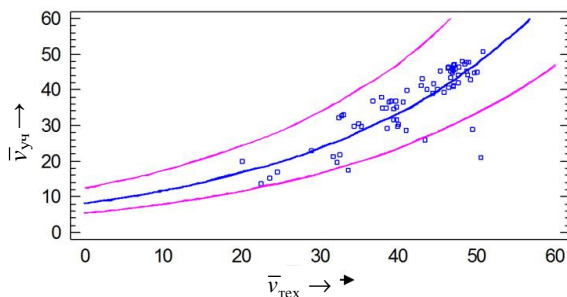


Рисунок 3 – Зависимость участковой скорости от технической – экспоненциальная функция

Поскольку коэффициенты корреляции при использовании вышеуказанных выражений различаются незначительно, можно утверждать, что для построения зависимости между технической и участковой скоростями можно использовать линейную функцию.

Высокий уровень корреляции между значениями позволяет сделать вывод о том, что уровень технической скорости оказывает решающее влияние на участковую скорость, так как в её основе заложено то же чистое время хода, которое определяет и ходовую скорость. Основными причинами остановок поездов на участке является необходимость организации обгонов грузовых поездов пассажирскими и ускоренными поездами, а на однопутных линиях – также и скрещения грузовых поездов между собой и с пассажирскими. Количество и продолжительность стоянок при обгонах и скрещениях также во многом зависят от технической скорости.

Установленная зависимость между технической и участковой скоростями позволяет упростить анализ организации работы участков направления: анализируя график зависимости, можно определить участки, движение на которых организовано недостаточно эффективно (точки, расположенные на графике ниже линии зависимости), или, напротив, эффективнее среднего уровня (точки, расположенные на графике выше линии зависимости).

2 Анализ изменений среднесуточного количества грузовых поездов на участках направления.

Для оценки характера колебаний среднесуточного количества грузовых поездов N при помощи программного пакета Statgraphics проследим, как изменяются коэффициент вариации σ и среднее квадратическое отклонение их числа от среднего значения γ с увеличением поездопотока. При этом среднее квадратическое отклонение характеризует абсолютный размах колебаний, а коэффициент вариации – относительный.

Взаимосвязь среднее квадратического отклонения со средним числом грузовых поездов характеризуется логарифмическим уравнением

$$\ln \sigma = -0,0961029 + 0,45803 \ln N, \quad (4)$$

или

$$\sigma = 0,908371N^{\cdot}. \quad (5)$$

На рисунке 4 показана графическая интерпретация среднее квадратического отклонения числа грузовых поездов на направлении Витебск – Гомель от среднего значения.

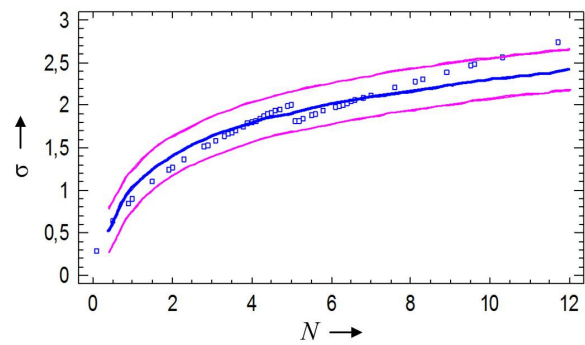


Рисунок 4 – Среднее квадратическое отклонение числа грузовых поездов на направлении Витебск – Гомель от среднего значения

Взаимосвязь коэффициента вариации со средним числом грузовых поездов характеризуется уравнением

$$\gamma = \sqrt{-0,0126719 + \frac{0,814252}{N}}. \quad (6)$$

Графическая интерпретация взаимосвязи коэффициента вариации числа грузовых поездов на направлении Витебск – Гомель с их средним значением показана на рисунке 5.

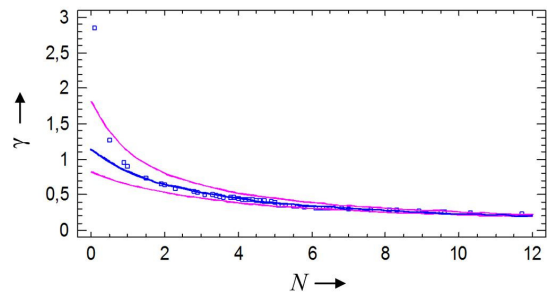


Рисунок 5 – Коэффициент вариации числа грузовых поездов на направлении Витебск – Гомель

Гистограмма распределения числа грузовых поездов на направлении Витебск – Гомель, на которую для наглядности наложена кривая нормального распределения, представлена на рисунке 6.

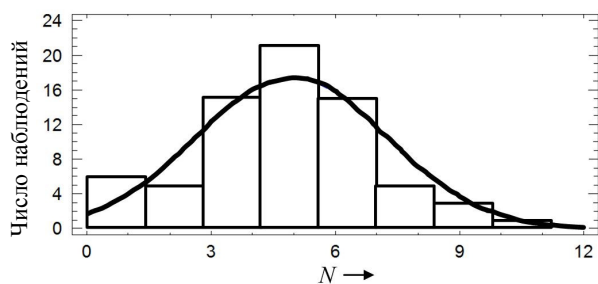


Рисунок 6 – Гистограмма распределения числа грузовых поездов на направлении Витебск – Гомель

Анализ изменений среднесуточного количества грузовых поездов на участках направления Витебск – Гомель позволяет сделать вывод о том, что среднесуточные размеры движения на участках в целом подчиняются нормальному закону распределения. При этом с увеличением размеров движения абсолютный размах колебаний увеличивается, а относительный – уменьшается.

3 Определение эффекта от увеличения тягового плеча локомотива.

При расчете потребности в локомотивах грузового движения по участкам обращения одним из важнейших параметров является коэффициент потребности локомотивов на пару грузовых поездов, на который, в свою очередь, влияет время движения по направлению.

Для оценки влияния увеличения тягового плеча локомотива на время движения по участку рассмотрим два участка, среднее время движения по одному из которых (t_1) составляет 300 мин, по второму (t_2) – 230 мин.

В случае увеличения тягового плеча локомотива математическое ожидание времени хода по объединенному участку будет определяться по формуле

$$\bar{M} = t_1 + t_2. \quad (7)$$

Фактически время движения грузового поезда по участку имеет вероятностный характер, поскольку на него оказывает влияние множество факторов (потери времени, обусловленные скрещиваниями и обгонами поездов, квалификация машиниста и т.д.).

Обозначим среднее квадратическое отклонение времени движения по первому и второму участкам как σ_1 и σ_2 соответственно. Тогда среднее квадратическое отклонение времени хода по объединенному участку составит

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}. \quad (8)$$

При нормировании локомотивного парка целесообразно использовать не математическое ожидание среднего времени движения по участку, а большее значение, находящееся в доверительном интервале с надежностью 0,95.

Получено 24.10.2015

V. J. Negrey, K. M. Shkurin. Development of methodology for the analysis of the transportation process.

The theoretical prerequisites for using probabilistic methodology for the analysis of the transportation process measures are considered. The results of studies of the effect of technical speed on service speed and the fluctuation analysis for the number of freight trains on Vitebsk-Gomel line are given. The effect on train movement time by increasing locomotive run is evaluated.

В таблице 1 приведена оценка влияния увеличения тягового плеча локомотива на сокращение времени движения по участку при среднем квадратическом отклонении времени хода, составляющем 0,1; 0,2 и 0,3 от t .

Таблица 1 – Оценка эффекта от увеличения тягового плеча

Тяговые плечи	Время движения, мин			Экономия в сравнении с существующей системой	
	\bar{M}	$\bar{\sigma}$	с 95%-й вероятностью	мин	%
Существующие	530	53	616	–	–
	530	106	703	–	–
	530	159	791	–	–
Увеличенное	530	37,8	593	23	3,7
	530	75,6	651	52	7,4
	530	113,4	716	75	9,5

Из таблицы видно, что эффект от увеличения тягового плеча локомотива значительно возрастает с ростом среднего квадратического отклонения времени движения по участку. Так, при $\sigma = 0,3t$ увеличение тягового плеча позволит сократить время движения по участку на 9,5 %.

Таким образом, можно утверждать, что многие параметры перевозочного процесса являются по своей природе вероятностными, хотя в действующей методологии рассматриваются как детерминированные, что зачастую приводит к управленческим ошибкам. Более широкое использование вероятностных методов в анализе работы транспортных систем позволяет не только упростить процесс обработки информации, но и повысить качество принимаемых решений.

Следует отметить, что применение регрессионного и корреляционного анализа способствует выявлению недостоверных исходных данных, вносящих искажения в результаты исследования. Анализ массива полученных данных, выполненный с использованием вероятностных методов, позволяет легко определить значения исследуемого показателя, значительно отличающиеся от прогнозируемых, и установить их достоверность путем более детального изучения.

Список литературы

- 1 **Вдовин А. Н.** На основе имитационного моделирования / А. Н. Вдовин, И. Н. Шапкин // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 3. – С. 37–41.
- 2 **Вентцель Е. С.** Исследование операций: задачи, принципы, методы / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. – 206 с.
- 3 **Некрашевич В. И.** Управление эксплуатацией локомотивов / В. И. Некрашевич, В. И. Апатцев. – М.: РГОТУПС, 2004. – 257 с.
- 4 **Правдин Н. В.** Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М.: Транспорт, 1987. – 247 с.
- 5 **Шевченко Д. Н.** Теория вероятностей и математическая статистика / Д. Н. Шевченко. – Гомель: БелГУТ, 2006. – 314 с.