

УДК 656. 13.059

Т.М. Григорова, магистр,  
А.Ф. Дащенко, д-р техн. наук, проф.,  
Одес. нац. политехн. ун-т.

## МЕТОДЫ И ПРАКТИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Т.М. Григорова, О.Ф. Дащенко. **Методи і практика прогнозування розрахункових характеристик автомобільних шляхів.** Запропоновано методи прогнозування інтенсивності руху на основі існуючих розрахункових залежностей та їх точність. Показано, що надійність та довгостроковість кількісних оцінок може досягати певного строку.

Т.М. Grigorova, A.F. Dashchenko. **Methods and practice of predicting the estimated performance of automobile roads.** The methods of predicting the traffic intensity on the basis of the existing estimated dependencies are proposed, as well as their accuracy at is shown that reliability and long duration of quantitative estimates can range up to a certain term.

Методы прогнозирования интенсивности движения включают, кроме метода экспертных оценок [1], следующие группы основанные на:

- использовании данных по изменению интенсивности движения в прошлые годы (методы экстраполяции) [2];
- анализе транспортных связей в рассматриваемом районе;
- многофакторном анализе хозяйственной деятельности [3].

Экстраполяционные методы используют такие модели динамики интенсивности движения, как линейный закон роста интенсивности, уравнение сложных процентов, экспоненциальные и степенные уравнения, логистические кривые.

Линейная модель основана на применении уравнения [4]

$$N_t = N_0(1 - pt), \quad (1)$$

где  $N_0$  — интенсивность движения в исходном году;

$N_t$  — интенсивность движения в расчетном году;

$p$  — средние темпы роста за последние 10...15 лет;

$t$  — расчетный год.

Максимальный допустимый срок прогнозирования при помощи линейной модели не превышает пять лет. Областью применения является организация движения на дорогах низших категорий.

Модель, использующая уравнение сложных процентов, основана на применении следующей формулы [5]:

$$N_t = N_0 \left( 1 + \frac{p}{100} \right)^{n-1}, \quad (2)$$

где  $n$  — число лет, на которые прогнозируется интенсивность.

Данная модель также используется для решения проектных задач организации дорожного движения на дорогах низких категорий. Период упреждения при этом достигает семи лет. В случае капитального ремонта и реконструкции дорог этот период может достигать 10 лет.

Модификацией данного метода является метод, основанный на применении следующей зависимости [6]

$$N_t = N_0 \prod_1^{t-1} \left( 1 + \frac{\Delta N_t}{100} \right), \quad (3)$$

где  $\Delta N_t$  — темпы относительного прироста, определяемого как

$$\Delta N_t = b_0 + \frac{b_1}{\sqrt[3]{t-1}}, \quad (4)$$

где  $b_0$  и  $b_1$  — эмпирические коэффициенты, определяемые в зависимости от первоначального темпа относительного прироста.

| Первоначальный темп относительного прироста, % | 10  | 12  | 14   | 16   | 18   | 20   |
|--|-----|-----|------|------|------|------|
| Значения $b_0$                                 | 3,7 | 3,1 | 2,5  | 1,9  | 1,3  | 0,7  |
| Значения $b_1$                                 | 6,3 | 8,9 | 11,5 | 14,1 | 16,7 | 19,3 |

Метод [7] используется для среднесрочных прогнозов при решении задач организации движения, капитального ремонта и реконструкции дорог всех категорий, при этом период упреждения 10...15 лет.

Экспоненциальные и степенные модели основаны на применении следующих уравнений:

$$N_t = N_0 e^{pt};$$

$$N_t = N_0 q^t;$$

$$N_t = N_0 t^\alpha,$$

$$N_t = (at^3 + a_1 t^2 + a_2 t + a_0)^{1/n},$$

где  $\alpha$  — показатель степени;

$a_0, a, a_1, a_2$  — эмпирические коэффициенты;

$t$  — расчетный год;

$n$  — общее число лет прогнозирования.

Экспоненциальные и степенные модели используются для краткосрочных прогнозов в области организации движения. Период упреждения достигает пяти лет.

Модели прогнозирования интенсивности движения, основанные на логистической кривой, исходят из предположения, что динамика интенсивности движения подчинена дифференциальному уравнению вида [8]

$$\frac{dN}{dt} = cN(P - N), \quad (5)$$

где  $N$  — интенсивность движения;

$P$  — пропускная способность дороги;

$c$  — постоянная;

$t$  — период времени.

Решение этого уравнения имеет вид

$$N = \frac{P}{1 + b_2 e^{kct}}. \quad (6)$$

Уравнение (6) представляет собой  $S$ -образную логистическую кривую с асимптотами  $N = 0$  при  $t \rightarrow -\infty$  и  $N = P$  при  $t \rightarrow +\infty$ .

Согласно данным [8] уравнение (6) может быть преобразовано к виду

$$N_t = \frac{PN_0}{N_0 + (P - N_0)e^{-Pmt/(P - N_0)}}, \quad (7)$$

где  $m = c(P - N_0)$ ;

$N_0$  — интенсивность движения при  $t = 0$ ;  $N_0(1 + k) = P$  при  $t \rightarrow +\infty$ .

Анализ уравнения (7) показывает, что существует критический момент времени  $t_k$ , когда темп роста интенсивности движения начинает уменьшаться в соответствии с равенством

$$t_k = \ln \frac{1}{N_0} \left( \frac{P - N_0}{Pm} \right). \quad (12)$$

Логистическая кривая применяется преимущественно для долгосрочных прогнозов при решении задач реконструкции и проектирования дорог, кроме того, ее часто применяют для прогнозирования общих показателей развития автомобильного транспорта, например, числа автомобилей на душу населения как в отдельных районах, так и в среднем по стране [9].

Методы, основанные на анализе транспортных связей в рассматриваемом районе, базируются на всестороннем учете грузовых и пассажирских перевозок, которые предполагается осуществлять по строящейся дороге. Расчетный объем перевозок в месяц “пик” определяется для каждого грузооборотного пункта, обслуживаемого данной дорогой или ее участком, а объем перевозок для отдельных участков дороги — путем последовательного суммирования объемов грузовых и пассажирских перевозок, поступающих с предыдущих участков дороги.

Перспективный объем перевозок  $Q_i$

$$Q_i = \rho k_m k_n \sum_{i=1}^n Q_i k_i,$$

где  $Q_i$  — среднемесячный объем перевозок грузов  $i$ -го типа;

$\rho$  — коэффициент увеличения объема грузовых перевозок на перспективу;

$k_m$  — коэффициент, учитывающий многолетнюю неравномерность перевозок;

$k_i$  — коэффициент повторности перевозок грузов  $i$ -го типа;

$k_n$  — коэффициент неучтенных перевозок, принимаемый равным 1,15.

Объемы перевозок  $Q_i$  устанавливаются на основе отчетных данных хозяйств за последние 5...8 лет или рассчитываются на основе усредненных нормативов.

Значение коэффициента увеличения объема грузовых перевозок на перспективу  $\rho$  определяется по формуле

$$\rho = \left( 1 + \frac{\Delta q}{100} \right)^T, \quad (14)$$

где  $\Delta q$  — ежегодный прирост объема перевозок ( $\Delta q = 2...6\%$ );

$T$  — число лет, на которое прогнозируется объем перевозок.

На основании данных о перспективном объеме перевозок рассчитывается перспективная интенсивность

$$N_t = \frac{Q_i k}{t_p \gamma \beta q_c}, \quad (15)$$

где  $t_p$  — число дней в течение расчетного периода перевозок ( $t_p = 22$ );

$\gamma$  — коэффициент использования грузоподъемности автомобилей (0,8...0,9);

$\beta$  — коэффициент использования пробега автомобилей ( $\beta = 0,5...0,6$ );

$q_c$  — средняя грузоподъемность автомобилей;

$k$  — поправочный коэффициент для учета мелкопартионных и пассажирских перевозок ( $k = 1,1...1,2$ ).

Методы, основанные на анализе грузовых и пассажирских перевозок в районе прокладки проектируемой дороги, используются для долгосрочного прогнозирования с периодом упреждения 20 лет.

Методы, основанные на многофакторном анализе хозяйственной деятельности, базируются на корреляционном и регрессионном анализе. Для прогнозирования интенсивности движения используются уравнения множественной регрессии в виде

$$N_i = A_1x_1 + A_2x_2 + A_3x_3 + \dots + A_nx_n + B,$$

где  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  — коэффициенты регрессии;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  — факторы, влияющие на интенсивность движения.

В число таких факторов включают: объемы валовой продукции сельскохозяйственного и промышленного производства; численность населения; количество автомобилей; плотность сети автомобильных дорог с твердым покрытием; объем строительно-монтажных работ [2].

Основным недостатком многофакторных моделей является то, что они не носят универсальный характер, а применимы только для тех районов, для которых использованы данные об их экономическом развитии.

Метод экспертных оценок применяется как дополнение к другим методам долгосрочного прогнозирования. Период упреждения 25 лет. Применяемые в прогнозировании методики экспертных оценок разделяют на индивидуальные и коллективные.

Индивидуальные экспертные методики основаны на использовании мнений независимых экспертов-специалистов соответствующего профиля и предполагают интервью и аналитические экспертные оценки.

Интервью носит характер бесед прогнозиста с экспертом, в ходе которой прогнозист в соответствии с заранее разработанной программой ставит перед экспертом вопросы относительно перспективной интенсивности движения. Успех такой оценки в значительной степени зависит от способности интервьюируемого эксперта экспромтом давать заключения по самым различным вопросам.

Аналитические экспертные оценки предполагают длительную самостоятельную работу эксперта над анализом тенденций, оценкой состояний и путей развития прогнозируемого объекта. Свои соображения эксперт оформляет в виде докладной записки.

Методики коллективных экспертных оценок основываются на принципах выявления коллективного мнения экспертов о перспективах развития объекта прогнозирования. Экспертные оценки формируются специальными комиссиями в процессе обслуживания экспертами за “круглым столом” той или иной проблемы с целью согласования мнений и выработки единого мнения. Недостатком “круглого стола” является тот факт, что принимаемое решение, как правило, является компромиссным.

В отличие от методики “круглого стола” в программной среде “Делфи” вместо коллективного обсуждения той или иной проблемы проводится индивидуальный опрос экспертов обычно в форме анкетирования для выяснения относительной важности и сроков свершения гипотетических событий. Затем производится статистическая обработка анкет и формируется коллективное мнение группы. Участников экспертизы просят пересмотреть оценки и объяснить причины своего несогласия с коллективным суждением. Эта процедура повторяется 3...4 раза. В результате происходит сужение диапазона оценок.

Оптимальная численность группы экспертов устанавливается путем определения максимальной и минимальной границ численности группы. Максимальная численность экспертной группы устанавливается как

$$n_{\max} \leq \frac{3 \sum_{i=1}^n k_i}{2k_{\max}},$$

где  $k_i$  — компетентность  $i$ -го эксперта;

$k_{\max}$  — максимально возможная компетентность по используемой шкале компетентности.

Компетентность эксперта оценивается по формуле

$$k_i = 0,5 \left( \frac{\sum_{j=3}^m \gamma_j}{\sum_{j=1}^m \gamma_{j_{\max}}} + \frac{\lambda}{p} \right),$$

где  $\gamma_j$  — вес градации в баллах, перечеркнутой экспертом по  $j$ -ой характеристике в анкете;

$\gamma_{j_{\max}}$  — максимальный вес (предел шкалы) в баллах  $j$ -ой характеристики;

$\lambda$  — вес ячейки в баллах, перечеркнутой экспертом в шкале самооценки;

$p$  — предел шкалы самооценки эксперта в баллах.

Минимальная численность экспертной группы

$$n_{\min} = 0,5 \left( \frac{3}{\varepsilon} + 5 \right),$$

где  $\varepsilon$  — заданная величина изменения средней ошибки при включении или исключении эксперта.

Окончательно численность экспертной группы формируется последовательным исключением малокомпетентных экспертов. При этом используется условие  $(k_{\max} - k_i) \leq \eta$ , где  $\eta$  — задаваемая величина границы допустимого отклонения компетентности  $i$ -го эксперта от максимальной. Одновременно могут включаться в группу новые эксперты. Численность группы устанавливается в пределах  $n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$ .

При обработке результатов экспертных оценок определяется коэффициент конкордации, показывающий степень согласованности мнений экспертов по важности каждого из оцениваемых направлений, и коэффициенты парной ранговой корреляции, свидетельствующие о степени согласованности экспертов друг с другом.

Для этого производится ранжирование оценок важности, данных экспертами.

Коэффициент конкордации [6]

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^m d_j^2}{n^2(m^3 - m) - n \sum_{i=1}^n T_i}, \quad (9)$$

где  $T_i = \sum_{j=1}^n t_i^3 - t_i$ ;  $d_j = S_j - \bar{S}$ ;  $S_j = \sum_{i=1}^n R_{ij}$ ;  $\bar{S} = \sum_{j=1}^m S_j / m$ ;

$R_{ij}$  — ранги оценки, данной  $i$ -м экспертом  $j$ -му направлению;

$m$  — число исследуемых направлений (число оцениваемых факторов);

$n$  — число экспертов;

$t_i - j$ -ое число одинаковых рангов в  $i$ -м ранжировании.

Коэффициент конкордации изменяется в пределах от 0 до 1:  $W = 1$  означает полную согласованность мнений экспертов,  $W = 0$  — полную несогласованность.

Коэффициент парной ранговой корреляции между оценками двух любых экспертов  $\alpha$  и  $\beta$  определяется как

$$\rho_{\alpha\beta} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n \phi_j^2}{\frac{1}{6}(n^3 - n) - \frac{1}{12}(T_\alpha + T_\beta)}, \quad (10)$$

где  $\rho_{\alpha\beta}$  — коэффициент ранговой корреляции;

$\phi_j$  — разница рангов (по модулю) оценок  $j$ -го направления исследований, назначенных экспертами  $\alpha$  и  $\beta$ ;

$n$  — число оцениваемых направлений (факторов) в ряду;

$T_\alpha$  и  $T_\beta$  — показатели связанных ранговых оценок экспертов  $\alpha$  и  $\beta$ .

Коэффициент парной ранговой корреляции может изменяться от  $-1$  до  $+1$ : Значение  $\rho_{\alpha\beta}=+1$  соответствует полной согласованности мнений двух экспертов, а  $\rho_{\alpha\beta}=-1$  показывает, что мнение одного эксперта противоположно мнению другого.

Учитывая изложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотренные методы прогнозирования интенсивности движения могут применяться для разработки прогноза роста интенсивности движения автомобилей различных типов, а, следовательно, для прогнозирования состава транспортных потоков.

2. Требования к точности прогноза интенсивности движения определяются целями прогнозирования. Достаточной точностью оценки интенсивности движения может быть: при выборе категории дорог — до 30 %; при определении числа полос движения — до 30 %; при конструировании дорожной одежды — 15...27 %; при выборе методов и средств регулирования дорожного движения — до 20 %. Для обеспечения рассмотренной точности прогнозов необходимо располагать данными учета фактической интенсивности движения за 10...15 лет.

3. Анализ существующих методов прогнозирования показывает, что период упреждения надежных количественных оценок интенсивности движения не превышает 15 лет. Количественные методы долгосрочного прогнозирования интенсивности движения (с упреждением 20...30 лет) отсутствуют. Предложения использовать для этой цели логистическую кривую оказываются неприемлемыми в случае отсутствия прогноза сроков качественного преобразования транспортной системы в целом.

#### Литература

1. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. — М.: Транспорт, 1977. — 303 с.
2. Кероглу Л.А. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / Кероглу Л.А., Крылов Ю.С., Сильянов В.В. — М.: Транспорт, 1977. — 303 с.
3. Романенко И.А. Техничко-экономические основы проектирования сетей автомобильных дорог.— М.: Высшая школа, 1975. — 267 с.
4. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справ.: Пер. с англ. / В.У. Рэнкин, П.К. Клафи, С. Халберт и др. — М.: Транспорт, 1981. — 592 с.
5. Френкель А.А. Математические методы анализа динамики и прогнозирования производительности труда. — М.: Экономика, 1972. — 158 с.
6. Гаврилов А.А. Моделирование дорожного движения. — М.: Транспорт, 1980. — 189 с.
7. Гаврилов Э.В. Системное проектирование автомобильных дорог / Гаврилов Э.В., Гридчин А.М., Ряпухин В.Н. — М.: Белгород: Изд. АСВ, 1998. — 138 с.
8. Максименко В.И., Эртель Д. Прогнозирование в науке и технике. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 238 с.
9. Григоров М.А. Проблемы моделирования и управления движением транспортных потоков в крупных городах. Монография / Григоров М.А., Дашенко А.Ф., Усов А.В. — Одесса, Астропринт, 2004. — 272 с.
10. Григоров М.А. Информационное обеспечение для оптимизации транспортных потоков. Монография. — Одесса: Астропринт, 2004. — 372 с.

Поступила в редакцию 23 октября 2006 г.