

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ КР

КР автомобиль жолдорундагы кыймылдын интенсивдүүлүгүнүн прогнозу жана анализинин жыйынтыктары берилген.

Приведены результаты анализа и прогнозы интенсивности движения на автомобильных дорогах КР.

Results of the analysis and forecasts of intensity of movement on highways КР are resulted.

Одной из наиболее важных характеристик транспортного потока является интенсивность движения. Интенсивность движения влияет на геометрические элементы автомобильных дорог, возможности финансирования, выбора средств и методов организации движения.

Исследования, проведенные как в странах СНГ, так и за рубежом и обобщенные д.т.н., проф. В.В.Сильяновым, показывают, что интенсивность движения меняется в течение часа, суток, недели, месяца, по сезонам в течение года и по годам. Причем наиболее резкие колебания интенсивности наблюдаются на подходах к городам и населенным пунктам. Такие колебания вызваны влиянием большого числа факторов, наиболее существенными из которых являются изменение количества поездок, факторы, связанные с хозяйственной деятельностью предприятий и др.

Закономерности изменения интенсивности движения в течение часа. При разработке мероприятий по организации движения основным критерием является интенсивность движения и характер ее изменения в течение часа. В среднем в течение часа интенсивность движения меняется незначительно. Величина этого изменения зависит от суммарной часовой интенсивности. Наиболее значительные колебания наблюдаются в часы пик. Для характеристики этих колебаний используют показатель часа пик, определяемый отношением суммарной часовой интенсивности за час пик к интенсивности движения в пиковые 15 мин. По данным А.В.Каца, распределение величин часовой интенсивности движения подчиняется распределению Эрланга.

$$p(k_p) = 0,48^2 k_p e^{-0,48k_p}, \quad (1)$$

$$k_p = N_{\text{час}} / N_{\text{кр.с}},$$

где $N_{\text{час}}$ — часовая интенсивность, авт./ч; $N_{\text{кр.с}}$ — среднегодовая суточная интенсивность, автсут.

Коэффициент k_p в зависимости от интенсивности движения имеет следующие значения:

N, авт./сут.....	до 1000	1000—3000	более 3000
k_p	2.0 -3.5	1.5-2,5,	1.0-2,0

Анализ изменения часовой интенсивности в течение года, проведенный А.В. Кацем, показывает, что в общем виде это распределение подчиняется следующему закону:

$$p(k_p) = \frac{(0,24n)^n k_p^{n-1} c^{-0,24nk_p}}{(n-1)^n} \quad (2)$$

При $n = 1$ имеет место экспоненциальное распределение, при $n > 1$ — распределение Эрланга.

Большое практическое значение имеет установление связи между часовой $N_{\text{час}}$ и суточной $N_{\text{сут}}$ интенсивностью движения. По данным В.В.Сильянова и Ю.М. Ситникова, эта связь имеет следующий вид:

для внепикового периода

$$N_{\text{час}} = 0,076N_{\text{сут}} ; \quad (3)$$

для часа пик

$$N_{\text{час}} = 0,152N_{\text{сут}} . \quad (4)$$

Закономерности изменения интенсивности движения в течение суток. Интенсивность движения в течение суток меняется крайне неравномерно. Характер ее изменения в течение суток зависит от дня недели. Во все дни недели, кроме субботы и воскресенья, наблюдаются два пика интенсивности движения: утром (8—10 ч) и вечером (17 —19 ч). В субботу (утром) и воскресенье (вечером) имеется один пик. Эти пики интенсивности вызваны тем, что основной объем перевозок, составляющий около 85 % суточного объема, происходит на дорогах за 10–12 дневных часов.

Изменение интенсивности движения в течение недели. Анализ изменения интенсивности движения в течение недели показывает, что наибольшая ее величина приходится на пятницу и составляет около 20 % от суммарной интенсивности за неделю. В летние месяцы около крупных городов наибольшая интенсивность движения (с преобладанием легковых автомобилей) наблюдается в субботу и воскресенье вечером, а иногда и в понедельник.

Изменение интенсивности движения в течение месяца. Существенных колебаний интенсивности движения в течение месяца не отмечается. Наблюдается только некоторое увеличение интенсивности движения в конце месяца и снижение в начале. Эти изменения, видимо, вызваны колебаниями хозяйственной деятельности предприятий и торговых организаций. Среднемесячная суточная интенсивность движения в среднем составляет 58 % от среднегодовой суточной.

Закономерности изменения интенсивности и состава движения в течение года. Наиболее существенные колебания интенсивности наблюдаются по сезонам года. Эти колебания вызваны изменением хозяйственной деятельности, проведением посевных кампаний и сбором урожая, неравномерным использованием личных автомобилей, наличием периода массовых отпусков. Особенно заметно изменяется интенсивность движения на курортных дорогах, резко повышаясь в летний период. На дорогах, проходящих через сельскохозяйственные районы, наблюдаются ярко выраженные два пика: в весенний период (посевная) и осенний период (вывоз урожая). Наибольшая интенсивность на всех дорогах наблюдается в августе.

Изменение интенсивности движения по годам. Изучение и накопление данных по изменению интенсивности по годам имеет большое значение при разработке эффективных моделей прогнозирования интенсивности движения. Анализ результатов обследования автомобильных дорог, проводимых кафедрой проектирования дорог МАДИ (ГТУ) в течение последних 20 лет, показал значительное различие закономерности изменения интенсивности движения по годам на дорогах, проходящих в различных районах и различных по значению дорогах. Это отмечалось также в работах проф. В.Ф. Бабкова, В.В.Сильянова, Ю.М.Ситникова, О.А.Дивочкина, Н.Ф. Хорошилова, В.Е. Кагановича, М.Ф. Смирнова, Ю.С.Крылова, Ю.М. Санникова, В. К. Пашкина и др.

Наиболее резкий рост интенсивности движения наблюдается на участках, проходящих в районах с высокой плотностью населения и в промышленных районах. На участках, проходящих через сельскохозяйственные районы, рост интенсивности незначителен. Отмечено изменение темпов роста интенсивности движения с годами для одной и той же дороги. Для описания кривой изменения этих темпов может быть применено уравнение следующего вида:

$$\Delta N_T = at^b + ct^d. \quad (5)$$

где a, b, d — эмпирические коэффициенты; t — годы.

Н.Ф. Хорошилов предложил эмпирическую зависимость для определения ежегодного темпа относительного прироста интенсивности / /

$$\Delta N_T = a + \frac{b}{\sqrt[3]{t-1}}, \quad (6)$$

где a и b — эмпирические коэффициенты, определяемые в зависимости от первоначального темпа относительного прироста.

Первоначальный темп относительного при

роста, %	10	12	14	16	18	20
Значения a	3,7	3,1	2,5	1,9	1,3	0,7
Значения b	6,3	8,9	11,5	14,1	16,7	19,3

Исследование этой функции показывает, что она имеет разрыв в начале. Поэтому формула (6) может быть применена только при интенсивностях более 250 авт./сут.

Для большинства дорог характерны первоначально невысокие темпы роста интенсивности с последующим резким их увеличением. На дорогах, расположенных в пределах агломератов, наблюдается постоянный высокий темп роста интенсивности. При этом средняя величина составила 10—12%.

На темпы роста интенсивности движения большое влияние оказывает развитие экономики района проложения дороги. Только за счет влияния экономики интенсивность ежегодно возрастает в среднем на 5—8 %. Эти цифры увязываются с темпами роста национального дохода на душу населения, составляющими около 5 %. Средний состав движения на дорогах различных технических категорий колеблется в значительных пределах

Прогнозирование интенсивности движения. При прогнозировании интенсивности движения необходимо учитывать следующие факторы, влияющие на темпы роста интенсивности движения: характер перераспределения интенсивности движения по сети дорог; перспективы промышленного и сельскохозяйственного развития района проложения дороги; плотность населения и тенденции миграции населения; рост благосостояния населения.

Важным этапом прогнозирования является установление периода прогнозирования, зависящего от целей использования данных по интенсивности движения. Могут быть выделены следующие периоды прогнозирования: краткосрочное прогнозирование (5—7 лет) при организации движения (до 2 лет) и при капитальном ремонте (до 5 лет); среднесрочное прогнозирование (10—15 лет) для разработки проекта реконструкции дороги (до 12 лет); долгосрочное прогнозирование (20 лет и более) при проектировании новой дороги (25-30 лет) /1/.

Несомненно, что с сокращением периода прогнозирования повышается его точность. В практических целях для коротких периодов лучше использовать более простые методы, дающие достаточную точность. Чем больше срок прогнозирования, тем более точные результаты могут быть получены с помощью сложных методов.

Все методы прогнозирования можно разделить на следующие группы: методы, основанные на использовании данных по изменению интенсивности движения в прошлые годы (методы экстраполяции); методы, основанные на анализе транспортных связей в рассматриваемом районе; метод, основанный на многофакторном анализе хозяйственной деятельности; метод экспертных оценок.

К методам экстраполяции относятся следующие модели: линейный закон роста интенсивности; уравнение сложных процентов; экспоненциальные и степенные уравнения прогнозирования; логистическая кривая.

Линейная модель основана на применении уравнения

$$N_T = N_0(1 + pt), \quad (7)$$

где N_0 — интенсивность движения в исходный год; p — средние темпы роста за последние 10—15 лет; t — расчетный год.

Модель, использующая *уравнение сложных процентов*, является наиболее распространенной и основана на применении формулы

$$N_T = N_0 \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{n-1}, \quad (8)$$

где n — число лет, на которые прогнозируется интенсивность.

Экспоненциальные и степенные модели прогнозирования основаны на применении следующих уравнений :

$$N_t = N_0 e^{pt}; \quad (9)$$

$$N_t = N_0 q^t; \quad (10)$$

$$N_t = N_0 t^a. \quad (11)$$

Метод СоюздорНИИ, предложенный Н.Ф. Хорошиловым для расчета перспективной интенсивности движения, основан на применении следующей зависимости:

$$N_t = N_1 \prod_1^{t-1} \left(1 + \frac{\Delta N_1}{100}\right), \quad (12)$$

где N_1 — интенсивность в первый год эксплуатации дороги; ΔN_t — темпы относительного прироста.

Ю.М. Ситниковым на основе преобразования уравнения (12) было предложено уравнение, позволяющее упростить расчеты:

$$N_t = N_1 \left\{ 1 - 0,01 \left[a(t-1) + \sum_{t=2}^{t=T_c} b(t-1)^{\frac{1}{3}} \right] \right\}, \quad (13)$$

где a и b — эмпирические коэффициенты; T_c — срок службы дороги.

Для прогнозирования движения во вновь осваиваемых районах могут быть использованы степенные уравнения. В этих районах характерным является первоначальный рост интенсивности движения в период строительства дороги или каких-либо промышленных

объектов. После окончания строительства интенсивность движения растет медленно. Для прогнозирования по такой зависимости может быть использована следующая формула:

$$N_t = (at^3 + bt^2 + ct + d)^{1/n}, \quad (14)$$

где a , b , c и d — эмпирические коэффициенты; t — расчетный год; n — общее число лет прогнозирования.

Форма логистической кривой и для прогнозирования интенсивности движения установлена на основе логических рассуждений о возможном характере изменения интенсивности движения по годам. Характерна тенденция приближения логистической кривой к некоторому уровню насыщения. Например, при прогнозировании интенсивности движения таким уровнем может быть пропускная способность дороги.

Форма логистической кривой наиболее точно удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\frac{dN}{dt} = cN(P - N), \quad (15)$$

где N — интенсивность движения; P — пропускная способности, c — постоянная; t — период времени.

Решение уравнения (15) имеет вид

$$N = \frac{P}{1 + be^{-act}}. \quad (16)$$

Логистическая кривая, описываемая уравнением (16), представляет собой S-образную кривую с асимптотами $N = 0$ при $t \rightarrow -\infty$ и $N = P$ при $t \rightarrow +\infty$. Из уравнения (16) видно, что темпы роста N в процентах равны $100c(P - N)$, т.е. прямо пропорциональны разнице между N и ее асимптотой P . Если $N = N_0$ при $t = 0$, то $N_0(1+b) = P$. Если процент роста при $t = 0$ известен и равен $100m$ процентов в год, тогда

$$c(P - N_0) = m, \quad (17)$$

С учетом этого уравнение (16) примет следующий вид:

$$N_t = \frac{PN_0}{N_0 + (P - N_0)e^{-Pmt/(P - N_0)}}. \quad (18)$$

В уравнении (18) отношение $\frac{Pm}{P - N_0}$ характеризует скорость достижения предельного уровня, т.е. исчерпания пропускной способности. Момент времени, когда темп роста интенсивности движения начинает уменьшаться, соответствует точке, в которой

$$\ln \frac{1}{N_0} : \frac{Pm}{P - N_0}, \text{ или } \ln \frac{1}{N_0} \left(\frac{P - N_0}{Pm} \right).$$

Логистическая кривая охватывает практически весь период изменения интенсивности движения до достижения пропускной способности. Поэтому ее можно применять преимущественно при долгосрочных прогнозах. При использовании этой кривой необходимо иметь данные о пропускной способности и данные по интенсивности движения за последние 15 лет для определения параметров уравнения.

Логистическую кривую можно применять для прогнозирования общих показателей развития автомобильного транспорта, например числа автомобилей на душу населения как в отдельных районах, так и в среднем по стране .

В отдельных случаях с точки зрения упрощения определения основных параметров можно использовать уравнение типа

$$N_i = \frac{at^2}{b + t^2} \quad (19)$$

Модели, основанные на многофакторной корреляции, создавались с целью одновременного учета всего многообразия факторов, влияющих на изменение интенсивности движения: экономического развития района проложения дороги, численности населения, социального состава населения, размеров района, плотности сети дорог и др.

Список литературы

1. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. - М.: Транспорт, 1977. -303 с.

Таблица 1

Метод прогнозирования	Уравнение	Категория дороги	Цели определения интенсивности	Максимальный допустимый срок прогнозирования, годы	Область применения, исходные данные
Линейный закон	$N_t = N_0(1 + pt)$	I II III и IV	Организация движения То же Капитальный ремонт и организация движения	2 3 5	Желательно применение только для целей организации движения. Целесообразно применять на дорогах низких категорий. Необходимы данные учета за 10—15 лет
Закон сложных процентов		I II III IV и V	Организация движения То же Усиление дорожной одежды, капитальный ремонт Организация движения Капитальный ремонт Реконструкция и проектирование	3 5 7 10 10—20	Предпочтителен для дорог низкой категории. Необходимы данные учета за 10—15 лет. Метод дает ошибки на дорогах с интенсивным движением
Экспоненциальные и степенные модели	Уравнения () - () и ()	I II и III	Организация движения Капитальный ремонт Капитальный ремонт, реконструкция	3 – 5 5 10	Необходимы данные о темпах роста интенсивности. Не следует применять на дорогах IV и V категорий
Метод СоюздорНИИ	Уравнение () или ()	I—III IV и V	Организация движения Капитальный ремонт и реконструкция Проектирование новых дорог	До 5 10 15-20	Необходимы данные о темпах прироста интенсивности движения

Продолжение табл. 1

Метод прогнозирования	Уравнение	Категория дороги	Цели определения интенсивности	Максимальный допустимый срок прогнозирования, годы	Область применения, исходные данные
Логистическая кривая	Уравнение () или ()	I и II	Реконструкция, проектирование	15; 25	Необходимы данные о предельной интенсивности
Методы, основанные на анализе миграции населения и поездок	-	I	То же	До 20	Применяется при явно выраженной связи двух районов, а также на подходах к большим городам
Многофакторная корреляция	-	I	»	15; 25	Целесообразный срок прогнозирования зависит от наличия 5-, 10- и 15-летних планов развития народного хозяйства; при прогнозировании на 25 лет точность снижается
Метод экспертных оценок	-	I	Проектирование	25 лет	Применяется как дополнительный метод (например, совместно с многофакторным анализом)

Требования к точности прогнозирования. Точность прогнозирования в основном определяется его целями. Практически достаточными точностями оценки интенсивности движения могут быть следующие: 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 — до 20 %; при решении вопросов стадийности — до 30 %; при вычислении относительной аварийности — до 35 %. С учетом этих точностей в табл.1 показана применимость отдельных методов прогнозирования.

Последовательность прогнозирования интенсивности движения. В практических целях может быть рекомендована следующая последовательность прогнозирования: установление цели прогнозирования; определение срока прогнозирования; детальное всестороннее изучение экономического развития района приложения дороги; сбор данных об интенсивности движения за период не менее 10–15 лет; изучение маршрутов поездок по пунктам отправления и назначения; выбор модели для прогнозирования с учетом рекомендаций табл.1; оценка прогнозируемой интенсивности. Объемы работ по прогнозированию определяются сроками прогнозирования. Для долгосрочного прогноза необходим самый полный объем работ, при этом целесообразно применение нескольких способов прогнозирования. Предпочтительнее метод, основанный на множественной корреляции при наличии общего прогноза и народнохозяйственных планов развития рассматриваемого района. Может быть также использована логистическая кривая. Окончательные результаты долгосрочного прогнозирования должны уточняться методом экспертных оценок.

Постоянное, комплексное изучение и накопление данных о закономерностях изменения интенсивности движения являются залогом надежного прогнозирования и выбора наиболее эффективных проектных решений. Необходимо создать сеть постоянных и передвижных учетных пунктов для сбора данных по интенсивности и состава движения