

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ

Негрей В.Я., Пожидаев С.А.

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. Рассматриваются вопросы построения оптимизационных моделей в управлении интеллектуальными транспортными системами. Для подсистем местной работы железнодорожных узлов получены оптимизационные модели массы передаточного поезда и количества подач-уборок вагонов на грузовые пункты. Анализ моделей показал значительное влияние точности прогнозной информации на управляемые параметры процессов.

Ключевые слова: оптимизационная модель, интеллектуальная транспортная система, местная подсистема железнодорожных узлов, погрешность прогноза.

OPTIMIZATION OF THE DEVELOPMENT AND MANAGEMENT OF THE INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM

Negrey V.Ya., Pozhidaev S.A.

Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

Abstract. The issues of building optimization models of intelligent transport systems are considered. For the subsystems of local operation of railway junctions, optimization models of the weight of the transfer train and the number of wagons to freight points were obtained. Analysis of the models showed a significant impact of the accuracy of forecast information on the controllable parameters of processes.

Keywords: optimization model, intelligent transport system, local subsystem of railway junctions, forecast error.

Принятие как стратегических, так и тактических решений по развитию и управлению работой интеллектуальных транспортных систем (ИТС) наиболее часто проходит в условиях неопределенности прогнозной информации. Такая информация может быть вероятностной или неполной. Первый тип информации описывается с помощью теории случайных величин, а второй не обладает статистической устойчивостью и является информацией о неопределенности.

Наиболее полно исследованы при развитии и управлении транспортными системами законы распределения колебаний транспортных потоков для настоящего и будущего [1].

Значительная часть прогнозной информации носит вероятностный характер. Примером такой информации могут служить физико-технические характеристики перспективного подвижного состава, климатические и другие факторы. Для одной части таких характеристик на основе прошлого опыта могут известны законы распределения, но неизвестны для будущего. Отдельная группа прогнозных данных может быть известна только в некотором интервале (например, для стоимостных показателей) при неизвестном законе распределения. В таких ситуациях существенно усложняется процедура оптимизационных решений, перспективы развития транспортных систем. Наиболее сложные вопросы связаны с возможностями теории прогнозирования транспортных потоков, их структур, и размещения формируемых производительных сил страны.

Основное влияние на выбор путей развития интеллектуальных транспортных систем оказывает научно-технологический прогресс как в отрасли «транспорт», так и в смежных отраслях (машиностроение, энергетика, сельское хозяйство, металлургия и др.). Предстоит существенно уменьшить неопределенность таких параметров, как осевая нагрузка, масса поезда, отдельные физико-технические параметры системы «колесо-рельс», техническая скорость и др. Особое место в решении задачи построения ИТС занимает прогноз развития инфраструктуры и подвижного состава, которые во времени изменяют пропорции между различными видами транспорта, определяют экономику отрасли в целом и влияют на распределение финансовых ресурсов. В этой связи особого внимания требует задача построения высокоскоростных интеллектуальных транспортных систем, которые в значительной мере определяют конкурентоспособность пассажирских перевозок.

Управление ИТС в рыночной среде требует широкого применения оптимизационных моделей (ОМ). Большинство ОМ использует прогнозные параметры. В первую очередь, это характеристики транспортных нагрузок, многие временные показатели и другие виды информации.

Транспортные системы, даже отдельные технологические процессы имеют, как правило, социально-экономическую эффективность, а транспортная продукция не имеет вещественного выражения и не может быть создана впрок. Поэтому повышение эффективности работы таких систем связано, главным образом, с совершенствованием системы управления на основе современных информационных систем и внедрением перспективных технических конструкций.

Применение ОМ в управлении транспортными процессами в подавляющем большинстве случаев исходит из малореального предположения о нулевой погрешности исходной информации, хотя в исследованиях ряда авторов убедительно показано, что погрешности прогнозирования достигают значительной величины. Например, ситуационно-эвристический метод прогнозирования (СЭМП) поездной и грузовой работы [1] дает погрешности, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Погрешность прогноза объемов работы транспортной системы, полученного с помощью СЭМП

Среднесуточный объем работы, вагонов	Погрешность прогноза, %:
500–1000	8–11
1000–2000	5–8
2001–3500	4–5
3500–5000	3–4

Значительные погрешности наблюдаются при оценке пассажирских транспортных потоков [2]. Например, в часы «пик» средняя погрешность составляет 13–17 %, а в отдельных случаях достигает 36 и более процентов. Это свидетельствует о том, что принимаемые на основе ОМ решения могут иметь большую субъективность, особенно если носят нелинейный характер.

Одной из наиболее широко используемых в практике управления перевозочным процессом ОМ является модель вида

$$E = ax + \frac{b}{x} + C, \quad (1)$$

где x – оптимизируемый параметр;

a, b, C – неизвестные расчетные коэффициенты.

К этой ОМ сводится целый ряд реальных процессов.

Оптимизация массы передаточных поездов. Данная ОМ, разработанная К.К. Тихоновым и использованная в [3] для управления подсистемами местной работы железнодорожных узлов, сводится к расчету оптимальной массы передаточного поезда, при которой эксплуатационные расходы будут минимальны. Следуя этой модели

$$E = E_n + E_d, \quad (2)$$

где E_n , E_d – соответственно, расходы на накопление вагонов одного назначения внутриузловое передаточного поезда и его передвижение, рублей;

$$E_n = C Q_n C_{тч}, \quad (3)$$

C – параметр накопления вагонов внутриузловое передаточного поезда;

Q_n – масса передаточного поезда, т;

$C_{тч}$ – приведенная стоимость 1 т·ч брутто состава поезда, рублей.

Затраты на передвижение передаточного поезда

$$E_d = (T Q_n C_{тч} + W e_3 + (T + \bar{t}_c) e_{лч} + l_{дв} e_{лкм}) \frac{\Gamma}{Q_n}, \quad (4)$$

где T – продолжительность нахождения поезда в движении, ч;

e_3 – удельная расходная ставка на 1 т·км механической работы, рублей / т·км;

W – затраты механической работы локомотива на перемещение одного поезда между сортировочной и грузовой станциями узла, т·км;

$\bar{t}_c$ – дополнительная средняя продолжительность нахождения локомотива под составом на станции отправления и назначения, ч;

$e_{лч}$ – приведенная стоимость одного локомотиво-ч работы, рублей;

$l_{дв}$ – расстояние следования передаточного поезда, км;

$e_{лкм}$ – приведенная стоимость одного локомотиво-км передвижения, рублей;

Γ – суточный грузопоток, т.

Продолжительность нахождения передаточного поезда в движении

$$T = t_n + t_{дв} l_{дв} (P + Q_n), \quad (5)$$

где t_n – продолжительность нахождения в пути, независимая от массы поезда, ч;

$t_{дв}$ – «чистая» продолжительность движения поезда, приходящаяся на 1 т его массы и 1 км пути следования, ч;

P – масса локомотива, т.

Затраты механической энергии

$$W = (P + Q_n)(w_0 + i_3) l_{дв} \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где w_0 – средневзвешенное основное удельное сопротивление движению, Н/кН;

i_3 – эквивалентный уклон, ‰.

Общие приведенные расходы

$$E = C Q_n C_{тч} + \left[(t_n + t_{дв} l_{дв} (P + Q_n)) C_{тч} Q_n + (P + Q_n)(w_0 + i_3) l_{дв} e_3 \cdot 10^{-3} + \right. \\ \left. + (t_n + t_{дв} l_{дв} (P + Q_n) + \bar{t}_c) e_{лч} + l_{дв} e_{лкм} \right] \frac{\Gamma}{Q_n}. \quad (7)$$

После преобразования (7) и обозначив

$$\left. \begin{aligned} a &= (C + t_{дв} l_{дв} \Gamma) e_{тч}; \\ b &= (P l_{дв} (t_{дв} e_{лч} + e_3 (w_0 + i_3) \cdot 10^{-3}) + l_{дв} e_{лкм} + (t_n + \bar{t}_c) e_{лч}) \Gamma; \\ c &= ((t_n + t_{дв} l_{дв} P) e_{тч} + ((w_0 + i_3) e_3 \cdot 10^{-3}) + t_{дв} e_{лч} l_{дв}) \Gamma, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

получим

$$E = a \cdot Q_n + \frac{b}{Q_n} + C. \quad (9)$$

Модель (9) аналогична модели (1).

Для нахождения минимума функции (9) выполним дифференцирование

$$\frac{dE}{dQ_{\Pi}} = a - \frac{b}{Q_{\Pi}^2}. \quad (10)$$

Приравняв $\frac{dE}{dQ_{\Pi}} = 0$ и решив уравнение (10), получим

$$Q_{\Pi}^* = \sqrt{\frac{b}{a}}. \quad (11)$$

Выражение (11) для дальнейшего анализа представим в виде

$$Q_{\Pi}^* = \sqrt{\frac{B \cdot \Gamma}{D + E \cdot \Gamma}}, \quad (12)$$

где

$$B = (P((w_0 + i_s)e_s \cdot 10^{-3} + t_n e_{лч}) + e_{лкм})l_{дв} + (t_n + \bar{t}_c)e_{лч}; D = C \cdot C_{тч}; E = t_{дв}e_{тч}l_{дв}. \quad (13)$$

Допустим, что величина Γ в момент выбора оптимального значения массы передаточного поезда имела погрешность ε . Тогда, если прогноз величины Γ занижен, то

$$\beta = \frac{100 - \varepsilon}{100} \leq 1, \quad (14)$$

а расчетное значение суточного грузопотока составит

$$\Gamma = \beta \cdot \Gamma_{\phi}, \quad (15)$$

где Γ_{ϕ} – действительное значение грузопотока, т.

Если прогноз завышен, то

$$\beta = \frac{100 + \varepsilon}{100} \geq 1. \quad (16)$$

Используя выражение (12) получим оптимальное значение массы передаточного поезда при искажении информации

$$Q_{\Pi}^* = \sqrt{\frac{B \cdot \beta \cdot \Gamma}{D + E \cdot \beta \cdot \Gamma}}. \quad (17)$$

Анализ выражения (17) позволяет отметить, что без большой потери точности ($E \cdot \beta \cdot \Gamma \ll D$) формулу для расчета массы поезда при искажениях информации можно представить в виде

$$Q_{\Pi}^* \approx \sqrt{\frac{B \cdot \beta \cdot \Gamma}{D}} \quad (18)$$

или

$$Q_{\Pi}^* \approx Q_{\Pi} \sqrt{\beta} \quad (19)$$

Из (19) вытекает важный для практики управления передаточным движением вывод: оптимальная масса передаточного поезда прямо пропорциональна корню квадратному от погрешности прогноза суточного грузопотока. В зоне $\beta > 1$ система (оптимизируемый параметр) более чувствительна к погрешности исходной информации.

Для оценки влияния точности прогнозной информации на затраты перевозочного процесса необходимо определить значение функции (9). Когда масса поезда определена при значении грузооборота Γ , а фактически при этом он был равен Γ_{ϕ} , т. е.

$$\Delta E = a \cdot Q_{\Pi} \cdot \sqrt{\beta} + \frac{b}{Q_{\Pi} \sqrt{\beta}} + C - a \cdot Q_{\Pi} - \frac{b}{Q_{\Pi}} - C. \quad (20)$$

Преобразуя (20) с учетом (19) получим

$$\Delta E = a \cdot Q_{\Pi} \left(\frac{(1 - \sqrt{\beta})^2}{\beta} \right). \quad (21)$$

Из (21) следует, что любое искажение информации о грузообороте в ОМ приводит к увеличению затрат на организацию передаточного движения в железнодорожных узлах. Размер потерь может определяться по формуле

$$\Delta E = (C + t_{\text{дв}} l_{\text{дд}} \Gamma) e_{\text{гч}} \sqrt{\frac{B \cdot \Gamma}{D + E \cdot \Gamma}} \left(\frac{(1 - \sqrt{\beta})^2}{\beta} \right). \quad (22)$$

Анализ выражения (22) позволяет отметить чрезвычайно слабую чувствительность данной ОМ к погрешности исходной информации. Например, искажение информации о грузопотоке в пределах от -20 до $+20\%$ увеличивает расходы лишь на $1,4-0,8\%$.

Оптимизация количества подач-уборок на грузовые пункты. Данная ОМ широко используется в управлении местными вагонопотоками и разработке технологии работы транспортно-грузовых комплексов железных дорог. Целевая функция имеет вид

$$E_{\text{пу}} = \frac{n_{\text{м}} \cdot C_{\text{в}} \cdot A}{X_{\text{пу}}} + X_{\text{пу}} \cdot B + C. \quad (23)$$

Очевидно, что (23) аналогично функции (1) и также может быть описана выражением

$$E_{\text{пу}} = ax + \frac{b}{x} + C, \quad (24)$$

где a, b, c – некоторые постоянные коэффициенты.

Оптимальное количество подач-уборок

$$X_{\text{opt}} = \left(\frac{b}{a} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (25)$$

Учитывая, что вторая производная положительна ($E''_{\text{пу}} > 0$), то значение X_{opt} соответствует минимуму критерия эффективности.

Для принятия решений в интеллектуальных транспортных системах важное значение имеет оценка относительных потерь при неопределенности исходной информации. Для рассмотренных ОМ можно показать, что относительное увеличение потерь при управлении на основе пессимистических прогнозов транспортного потока составит

$$\alpha_{\Pi} = \frac{(1 - \sqrt{\beta_{\Pi}})^2 \beta_o}{(1 - \sqrt{\beta_o})^2 \beta_{\Pi}}, \quad (26)$$

где β_{Π}, β_o – соответственно, ошибка пессимистического и оптимистического прогнозов транспортного потока. Например, если $\beta_{\Pi} = 0,7$, а $\beta_o = 1,3$, то $\alpha_{\Pi} = 2,5$.

Если управление осуществлять на основе оптимистического прогноза, то

$$\alpha_o = \frac{(1 - \sqrt{\beta_o})^2 \beta_{\Pi}}{(1 - \sqrt{\beta_{\Pi}})^2 \beta_o}. \quad (27)$$

Для рассмотренного выше примера $\alpha_o = 0,4$.

Другими словами, управление, ориентированное на пессимистический прогноз, вызывает большие относительные затраты, чем управление на основе оптимистического прогноза для систем, описывающихся выражением (1).

Экономические потери в рассмотренных ОМ прямо пропорциональны коэффициенту «а», экономический смысл которого отражает затраты транспортной системы на организацию рейса по обслуживанию грузовых фронтов и является чувствительным к неопределенности исходной информации, требует повышенного внимания к ее точности.

Список литературы

- 1 Правдин, Н.В. Прогнозирование грузовых потоков / Н.В. Правдин, М.Л. Дыканюк, В.Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1987. – 247 с.
- 2 Правдин, Н.В. Прогнозирование пассажирских потоков / Н.В. Правдин, В.Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1980. – 224 с.
- 3 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: учеб. для вузов / П.С. Грунтов [и др.]. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.