

**ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ**

УДК 625.162 (075.8)

*И. М. ЦАРЕНКОВА, канд. экон. наук, Н. В. ДОВГЕЛЮК, канд. техн. наук, М. А. МАСЛОВСКАЯ, ассистент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель***ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ПУТЕПРОВОДА НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ ДОРОГ**

Рассмотрено влияние интенсивности движения на пересекающихся автомобильных дорогах, стоимости путепровода и простоя автомобиля на неприоритетной дороге на год строительства путепровода. При пересечении железной дороги автомобильной исследована целесообразность строительства путепровода взамен переезда в зависимости от загрузки автомобильной и железных дорог.

**П**ересечения автомобильных дорог в одном уровне вызывают большие потери от простоя автотранспорта перед закрытыми сигналами светофоров или шлагбаумами переездов. Кроме того, на пересечениях в одном уровне повышена опасность наездов и столкновений транспорта. Из-за снижения скорости транспортных потоков и простоя у пересечений ежегодно теряются десятки миллионов часов, что равнозначно простоям в течение года с работающими двигателями более 10 тысяч машин.

Через пересечения проходят грунтовые дороги в сельской местности. Ежегодные потери сельского хозяйства из-за плохого содержания местных автомобильных дорог превышают 7–9 млрд рублей. Таким образом, совершенствование системы пересечений дорог становится весьма актуальной задачей.

Согласно существующей методике технико-экономического обоснования выбора типа пересечения с железной дорогой [5] на дорогах V категории с перспективной расчетной интенсивностью движения до 100 авт/сут. не требуется устройства пересечений в разных уровнях. Технико-экономическое обоснование необходимо выполнять для дорог IV категории с учетом и возможного перевода в III категорию.

Экономическая эффективность по вариантам устанавливается по минимуму приведенных затрат, которые определяются по формуле

$$P_{\text{пр}}^{\text{год}} = E_{\text{н}}K + C_{\text{ср}}, \quad (1)$$

где  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент приведения затрат.  $K$  – единовременные капитальные вложения по каждому варианту;  $C_{\text{ср}}$  – средние приведенные годовые текущие затраты за нормативный срок окупаемости;

Фактический срок окупаемости дополнительных капитальных вложений на пересечении в разных уровнях определяется по формуле

$$t_{\text{ф}} = K_{\text{пут}} / (C_{\text{пер}} - C_{\text{пут}}), \quad (2)$$

где  $K_{\text{пут}}$  – капитальные вложения в пересечения в разных уровнях;  $C_{\text{пут}}$ ,  $C_{\text{пер}}$  – средние текущие годовые затраты за период окупаемости пересечения в разных и одном уровне.

Обоснование проведения самостоятельной реконструкции переезда в пересечение в разных уровнях производится исходя из общей экономической эффективности всех капитальных вложений в строительство путепровода. В частности, необходимо учитывать стоимость дорожной одежды на всем протяжении подходов к путепроводу. Капитальные вложения могут возрасти, если учесть строительство временного объезда с переездом. Возможно увеличение текущих затрат из-за увеличения перепробега транспорта и снижения скорости на объезде. Капитальные вложения могут уменьшиться, если строительство путепровода совпадет с капитальным ремонтом дороги.

Уточним экономическую целесообразность срока строительства путепровода на пересечении автомобильных дорог, используя теорию массового обслуживания. Общая постановка задачи формулируется следующим образом: имеется перекресток дорог, по своим параметрам не отвечающий требованиям движения. В результате возникновения очередей транспортных средств образуются транспортные потери. Чтобы устранить или снизить потери, предлагается строительство путепровода. Реализация проекта требует капитальных вложений.

Отношение величины капитальных вложений к ежедневным потерям от простоев транспортных средств позволяет рассчитать время, в течение которого затраты на реализацию строительства окупятся. Если срок окупаемости не превосходит нормативное значение, то проектное решение экономически эффективно.

Модель массового обслуживания в задачах такого класса может быть одноканальной (участок реконструкции или ремонта), многоканальной (пересечение дорог в двух и более уровнях). Поток заявок на обслуживание являются транспортные средства.

Для решения поставленной задачи в теории массового обслуживания используются зависимости, обслуживающие два потока заявок с приоритетом.

Среднее число автомобилей в системе определяется по формуле

$$\overline{N}_{c2} = \frac{\Psi_2}{1 - \Psi} \left( 1 + \frac{\mu_2 \Psi_1}{\mu_1 (1 - \Psi_1)} \right). \quad (3)$$

Среднее время ожидания в очереди

$$t_{\text{ож2}} = \frac{1}{1-\Psi} \left( \frac{\Psi}{\mu_2} + \frac{\Psi_1}{\mu_1(1-\Psi_1)} \right), \quad (4)$$

где  $\overline{N_{c2}}$  – средняя интенсивность движения автомобилей по не приоритетной дороге, авт./ч;  $\mu_1, \mu_2$  – пропускная способность по пересекающимся дорогам, авт./ч;  $\Psi_1, \Psi_2$  – интенсивность обслуживания автомобилей на перекрестке для первой и второй дорог, авт./ч;  $\Psi$  – суммарная интенсивность обслуживания автомобилей на перекрестке дорог,  $\Psi_1 + \Psi_2$ ;  $t_{\text{ож2}}$  – время ожидания в очереди на не приоритетной дороге, ч.

Приведенные ниже зависимости описывают параметры второго потока, не пользующегося приоритетом.

Интенсивность обслуживания автомобилей на перекрестке для первой и второй дорог

$$\Psi_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}; \quad \Psi_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2}, \quad (5)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  – интенсивность движения по первой и второй дорогам, авт./ч.

Суточные потери времени автомобилями неприоритетного потока

$$T_s^n = \overline{N_{c2}} \lambda_2 T, \quad (6)$$

где  $T$  – число автомобиле-часов движения по дороге в сутки, авт.ч/сут.

Срок окупаемости затрат на строительство путепровода

$$t_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пут}}}{T_s^n C_{\text{пр}}^a}, \quad (7)$$

где  $C_{\text{пр}}^a$  – стоимость простоя автомобиля на перекрестке, у. е.;  $K_{\text{пут}}$  – стоимость путепровода, у. е.

Определить точное значение  $C_{\text{пр}}^a$  невозможно, т. к. в транспортном потоке имеется множество классов машин. Для расчетов принята стоимость простоя наиболее массового автомобиля (либо возможно рассчитать среднестатистический показатель методом приведения с учетом процента машин данного класса в составе движения).

Для определения окупаемости строительства путепровода ниже рассмотрен числовой пример с исходными данными, близкими к реальным на перекрестке дорог: интенсивность движения по первой дороге  $\lambda_1 = 700$  авт./ч, по второй –  $\lambda_2 = 300$  авт./ч. Движение по первой дороге с пропускной способностью  $\mu_1 = 1200$  авт./ч. пользуется приоритетом по сравнению с движением по второй дороге  $\mu_2 = 1000$  авт./ч. Нормативный срок окупаемости в транспортном строительстве составляет четыре года.

Интенсивность обслуживания автомобилей на перекрестке для первой и второй дорог по формуле (5) составляет:  $\Psi_1 = \frac{700}{1200} = 0,58$ ;  $\Psi_2 = \frac{300}{1000} = 0,30$ ; тогда  $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 = 0,58 + 0,30 = 0,88 < 1$ .

Суточные потери времени из-за простоя автомобилей

$$T_{\Sigma}^a = \frac{1}{1-0,88} \left( \frac{0,88}{1000} + \frac{0,58}{1200(1-0,58)} \right) \cdot 300 \cdot 24 = 57,0 \text{ авт.ч/сут.}$$

$$t_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пут}}}{T_{\Sigma}^a C_{\text{пр}}^a}; \quad t_{\text{ок}} = \frac{9000000}{57 \cdot 82} = 598 \text{ сут} = 1,5 \text{ года.}$$

Стоимость путепровода  $K_{\text{пут}}$  принята равной 9 млн у. е., а стоимость простоя  $C_{\text{пр}}^a = 82$  у. е./ч.

Выполненный расчет показал срок окупаемости затрат – 1,5 года, что меньше нормативного. Следовательно, путепровод экономически целесообразен.

Также произведены расчеты при другой стоимости путепровода (в зависимости от местных условий) и определены сроки окупаемости затрат на строительство путепровода в зависимости от стоимости путепровода и интенсивности движения (и) на пересекающихся автомобильных дорогах, которые приведены в таблице 1.

Графические зависимости срока окупаемости строительства путепровода от его стоимости и интенсивности движения приведены на рисунке 1.

Аналогичная ситуация наблюдается и на пересечениях железной дороги автомобильными (переездах).

Рассмотрим пример определения срока строительства путепровода взамен переезда с использованием теории массового обслуживания. Интенсивность движения по железной дороге составляет  $\lambda_1 = 24$  пары поездов в сутки, по автомобильной –  $\lambda_2 = 600$  авт./ч. Движение по железной дороге с пропускной способностью  $\mu_1 = 72$  пары поездов в сутки пользуется авторитетом по сравнению с движением по автомобильной дороге  $\mu_2 = 2000$  авт./ч.

Интенсивность обслуживания автомобилей на переезде для железной и автомобильной дорог:

$$\Psi_1 = \frac{24}{72} = 0,33; \quad \Psi_2 = \frac{600}{2000} = 0,30;$$

тогда  $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 = 0,33 + 0,30 = 0,63 < 1$ .

Используются зависимости обслуживания двух потоков заявок с приоритетом. Суточные потери времени автомобилей определяются по формуле

$$T_{\Sigma}^a = \frac{1}{1-\Psi} \left( \frac{\Psi}{\mu_2} + \frac{\Psi_1}{\mu_1(1-\Psi_1)} \right) \lambda_2 T. \quad (8)$$

$$T_{\Sigma}^a = \frac{1}{1-0,63} \left( \frac{0,63}{600} + \frac{0,33}{72(1-0,33)} \right) \cdot 600 \cdot 24 = 34,56 \text{ авт.ч/сут.}$$

Срок окупаемости

$$t_{\text{ок}} = \frac{14000000}{34,56 \cdot 82} = 1411 \text{ сут} \approx 3,9 \text{ года.}$$

Выполнены расчеты по определению сроков окупаемости для других исходных данных, приведенных в таблице 2.

Таблица 1 – Сроки окупаемости строительства путепровода в зависимости от его стоимости и интенсивности движения на пересекаемых дорогах

Капитальные вложения в строительство путепровода, $K_{\text{пут}}$ , у. е	Интенсивность движения автомобилей $I$ , авт./ч							
	На главной дороге							
	600		700		800		900	
	На второстепенной дороге							
	200	300	200	300	200	300	200	300
4 000 000	4,0	1,5	2,0	0,5	1,0	0	0	0
9 000 000	9,0	3,0	5,0	1,5	2,0	0	0,5	0
14 000 000	14,0	5,0	7,0	2,0	2,5	0	0,5	0

Примечание – Заштрихованы экономически нецелесообразные сроки строительства путепровода.

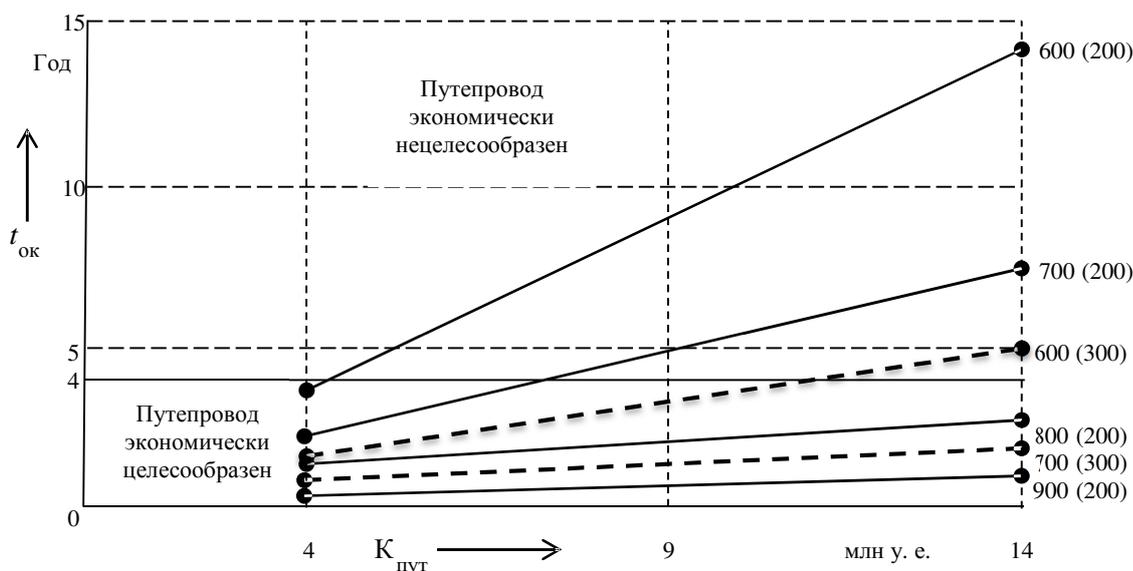


Рисунок 1 – Зависимости экономически целесообразных сроков строительства путепровода на пересечениях автомобильных дорог

Таблица 2 – Исходные данные для определения целесообразности строительства путепровода через железную дорогу

$K_{\text{пут}}$ , у. е.	4 000 000		10 000 000		14 000 000	
Число поездов, пп./сут	24	36	24	36	24	36
Интенсивность автомобилей, авт./ч.: min;	600	600	600	600	600	600
max	900	900	900	900	900	900

Зависимости сроков окупаемости строительства путепровода от его стоимости и количества поездов и интенсивности автомобилей приведены на рисунке 2.

Определим срок окупаемости дополнительных капитальных вложений в путепровод при его стоимости 4, 9 и 14 млн у. е. и принятой интенсивности движения на железной и автомобильной дорогах для расчетов по существующей типовой методике. Предварительно определяются транспортные затраты на пересечении в разных уровнях; увеличение транспортных затрат на переезде в связи со снижением скорости и увеличением времени стоянок перед закрытым шлагбаумом переезда; дополнительные затраты на содержание и ремонт охраняемого переезда.

Выполнив расчеты установлено, что использование теории массового обслуживания обеспечивает уменьшение срока окупаемости строительства путепровода на 1 год.

#### Выводы.

1 С увеличением стоимости путепровода при различной интенсивности движения автомобилей на пересечении дорог срок окупаемости отодвигается на тем большую величину, чем меньше интенсивность движения по главной дороге.

2 Сравнив пропускную способность существующего и намечаемого к строительству объектов, можно рассчитать экономический эффект, полученный инвестором.

3 Используя предложенную методику расчета экономической целесообразности строительства путепровода с учетом интенсивности движения по автомобильным дорогам или по железной и автомобильной дороге (переезд), можно определить время строительства путепровода, причем оно будет меньше на один год, чем по типовой методике.

4 В качестве способа сокращения затрат по строительству путепровода необходимо производить дальнейшее исследование эффективности сравнения вариантов пересечений в одном и в разных уровнях при различных темпах роста интенсивности движения на автомобильных и железных дорогах, с учетом совместной работы рядом находящихся пересечений дорог.

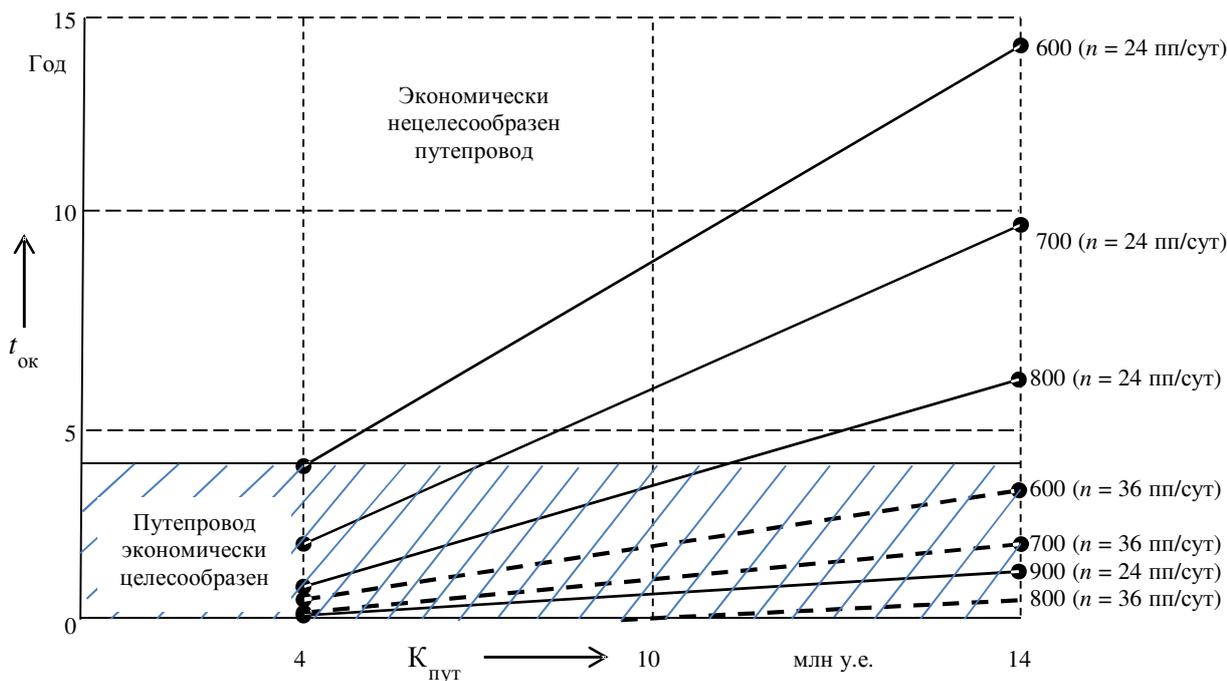


Рисунок 2 – Зависимости экономически целесообразных сроков строительства путепровода на пересечении автомобильной дороги с железной

#### Список литературы

- 1 Козин, Р. Г. Математическое моделирование: примеры решения задач учеб.-метод. пособие / Р. Г. Козин : – М. : НИЯУ МИФИ, 2010. – 176 с.
- 2 Экономико-математические методы и модели : учеб. пособие / Н. И. Холод [и др.] ; под ред. А. В. Кузнецова. – Минск : БГЭУ, 1999. – 413 с.
- 3 Математическое моделирование экономических процессов

на железнодорожном транспорте : учеб. / под ред. А. Б. Каплана. – М. : Транспорт, 1984. – 256 с.

4 Ложковский, А. Г. Расчет одноканальных систем с бесконечной очередью при экспоненциальной длительности обслуживания / А. П. Ложковский // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2009. – № 2. – С. 10–13.

5 Строительно-технические нормы СТН Ц-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. – М. : Стройиздат, 1995. – 86 с.

Получено 10.10.2016.

**I. M. Tsarenkova, N. V. Dovgelyuk, M. A. Maslovskaya.** Economic feasibility of building an overpass at the crossroads.

The effect of traffic on the intersecting roads, the cost of the overpass and idle the car on the road is not a priority for the year of construction of the overpass. When crossing the railroad established automotive feasibility of building an overpass instead of moving depending on the traffic of vehicles on the road and on the number of trains on the railway.