

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ТРАССЫ

Технико-экономическое сравнение вариантов трассы производят по множеству показателей, а точнее по трём группам (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение вариантов по показателям

Вид показателя	Наименование	Ед. изм.	1 вар.	2 вар.
Технико-эксплуатационные	Коэффициент удлинения трассы	–		
	Относительная средняя величина углов поворота	рад/м		
	Относительный средний радиус закругления	м/рад		
	Средний коэффициент безопасности	–		
	Средневзвешенный уровень загрузки	–		
	Средневзвешенный коэффициент аварийности	–		
	Относительная среднетехническая скорость транспортного потока	–		
	Относительное время доставки грузов	–		
Стоимость строительства		у.е.		
Экономическая эффективность		у.е.		

### 1 Коэффициент удлинения трассы

$$K_{\text{удл}} = \frac{L_{\text{тр}}}{L_{\text{в.л.}}}, \quad (1)$$

где  $L_{\text{тр}}$  – длина варианта трассы;  $L_{\text{в.л.}}$  – длина трассы по воздушной линии. Чем коэффициент удлинения меньше, тем выгоднее.

### 2 Относительная средняя величина углов поворота

$$\text{rad}_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{rad}_i}{L_{\text{тр}}}, \quad [\text{рад/м}], \quad (2)$$

где  $\text{rad}_i$  – величина угла поворота, радианы;

$$\text{rad}_i = \frac{\alpha_i \cdot \pi}{180}, \quad (3)$$

$\alpha_i$  – величина  $i$ -го угла поворота, градусы;  $n$  – количество углов поворота.

### 3 Относительный средний радиус закругления

$$R_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{\sum_{i=1}^n \text{rad}_i}, \quad [\text{м/рад}], \quad (4)$$

где  $K_i$  – полные кривые, включающие в себя круговую кривую и две переходных кривых,  $m$  (чем больше  $R_{cp}$ , тем лучше).

#### 4 Средний коэффициент безопасности

Сначала вычисляют средневзвешенные коэффициенты безопасности в прямом и обратном направлении по формулам

$$\bar{K}_{пр} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{без}} K_{без,i} \cdot l_i}{L_{тр}}, \quad \bar{K}_{обр} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{без}} K_{без,i} \cdot l_i}{L_{тр}} \quad (5)$$

где  $K_{без,i}$  –  $i$ -й коэффициент безопасности на  $i$ -м участке;  $l_i$  – длина  $i$ -го участка, м;  $M_{без}$  – количество участков. Чем больше значение средневзвешенного коэффициента безопасности, тем безопаснее вариант.

На рис. 1 приведён пример графика изменения коэффициента безопасности в прямом направлении. Для него осреднённый коэффициент безопасности

$$\bar{K}_{пр} = \frac{0,48 \cdot 500 + 1 \cdot 1700 + 0,85 \cdot 1500 + 0,98 \cdot 1200}{4900} = 0,896.$$

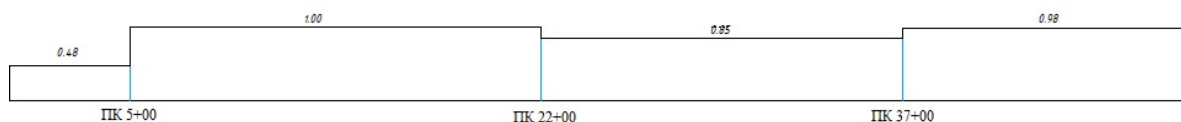


Рисунок 1 – Пример графика изменения коэффициента безопасности

Далее находят средний между средневзвешенными коэффициентами безопасности в прямом и обратном направлении коэффициент безопасности

$$\bar{K}_{без} = \frac{\bar{K}_{пр} + \bar{K}_{обр}}{2}. \quad (6)$$

#### 5 Средневзвешенный уровень загрузки

Средневзвешенный уровень загрузки считают аналогичным образом по формуле

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{загр}} z_i \cdot l_i}{L_{тр}}, \quad (7)$$

где  $z_i$  – уровень загрузки на  $i$ -м участке;  $l_i$  – длина  $i$ -го участка, м;  $M_{\text{загр}}$  – количество участков. Чем меньше значение средневзвешенного уровня загрузки, тем лучше вариант трассы.

## 6 Средневзвешенный коэффициент аварийности

Средневзвешенный коэффициент аварийности считают аналогичным образом по формуле

$$\bar{K}_{\text{ав}} = \frac{\sum_{i=1}^{M_{\text{ав}}} K_{\text{ит},i} \cdot l_i}{L_{\text{тр}}}, \quad (8)$$

где  $K_{\text{ит},i}$  – итоговый коэффициент аварийности на  $i$ -м участке трассы, значение принимается для самого аварийного периода года, т. е. когда он принимает максимальное значение;  $l_i$  – длина  $i$ -го участка, м;  $M_{\text{ав}}$  – количество участков. Чем меньше значение средневзвешенного коэффициента аварийности, тем безопаснее вариант трассы.

## 7 Относительная среднетехническая скорость

В курсовой работе за среднюю скорость транспортного потока принимают среднюю скорость движения расчётного автомобиля, для которого находили коэффициенты безопасности. Сначала вычисляют среднюю скорость движения в прямом и обратном направлении соответственно, км/ч:

$$\bar{V}_{\text{пр}} = \frac{\Omega_{\text{пр}}}{L_{\text{тр}}}, \quad \bar{V}_{\text{об}} = \frac{\Omega_{\text{об}}}{L_{\text{тр}}}, \quad (9)$$

где  $\Omega_{\text{пр}}$ ,  $\Omega_{\text{об}}$  – площади под эпюрами скорости расчётного автомобиля в прямом и обратном направлении соответственно, км<sup>2</sup>/ч;  $L_{\text{тр}}$  – длина варианта трассы, км.

Далее определяют среднетехническую скорость (осредненную по обоим направлениям движения), км/ч

$$\bar{V}_{\text{ср.т.}} = \frac{\bar{V}_{\text{пр}} + \bar{V}_{\text{об}}}{2}. \quad (10)$$

и относительную среднетехническую скорость (отнесённую к расчётной скорости движения расчётного автомобиля  $V_p$ )

$$\bar{V}_{\text{отн.ср.т.}} = \frac{\bar{V}_{\text{ср.т.}}}{V_p}. \quad (11)$$

Для грузового автомобиля ЗиЛ-130 расчётная скорость на дорогах II-IV категории составляет 80 км/ч.

## 8 Время доставки грузов

$$\bar{t}_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{пр}} + t_{\text{об}}}{2}, [\text{ч}], \quad (12)$$

$$t_{\text{пр}} = \frac{L_{\text{тр}}}{V_{\text{пр}}}; \quad t_{\text{об}} = \frac{L_{\text{тр}}}{V_{\text{об}}};$$

где  $L_{\text{тр}}$  – длина варианта трассы, км;  $t_{\text{пр}}$ ,  $t_{\text{об}}$  – время доставки груза в прямом и обратном направлении соответственно.

## 9 Стоимость строительства

$$K_0 = K_c + K_3, [\text{тыс. у. е.}], \quad (13)$$

где  $K_c$  – строительные затраты (сметная стоимость);  $K_3$  – стоимость земель, изъятых из сельскохозяйственных под автомобильную дорогу и её сооружения.

$$K_c = K_{\text{ср.уд.}} \cdot L_{\text{тр}}, [\text{тыс. у.е.}], \quad (14)$$

где  $L_{\text{тр}}$  – длина трассы, км;  $K_{\text{ср.уд.}}$  – средняя (удельная) стоимость строительства 1 км дороги, принимаемая по табл. 2 [1, с. 47].

Таблица 2 – Средняя стоимость строительства 1 км дороги

Категория дороги	Стоимость, $K_{\text{ср.уд.}}$ , тыс. у.е.
II	650
III	350
IV	200
V	80

$$K_3 = \frac{E_3 + K_b}{10000 \cdot E_3^2} \cdot P_{\text{ср}} \cdot S_3 \cdot L_{\text{тр}}, [\text{тыс. у.е.}], \quad (15)$$

где  $E_3 = 0,08$  – коэффициент эффективности сельскохозяйственного производства;  $K_b = 1,2$  – коэффициент интенсификации сельскохозяйственного производства;  $P_{\text{ср}}$  – средняя ширина постоянной полосы отвода, для дорог II категории – 39 м, III категории – 36 м, IV категории – 35 м;  $S_3$  – себестоимость 1 гектара земли (1га = 10000 м<sup>2</sup>), принимаемая по табл. 3;  $L_{\text{тр}}$  – длина трассы, м.

Таблица 3 – Средняя стоимость 1га сельхозугодий

Области и края	Средняя стоимость 1 га с/х угодий, $S_3$ , у.е.	Области и края	Средняя стоимость 1 га с/х угодий, $S_3$ , у.е.
Алтайский	400	Омская	320
Амурская	140	Оренбургская	280
Архангельская	200	Орловская	320
Астраханская	130	Пензенская	300

Брянская	310	Пермская	200
Владимирская	260	Приморский	410
Волгоградская	270	Псковская	310
Вологодская	220	Ростовская	530
Воронежская	620	Рязанская	270
Ивановская	340	Самарская	300
Иркутская	340	Саратовская	270
Калининградская	360	Сахалинская	370
Калужская	280	Свердловская	300
Кемеровская	270	Смоленская	280
Кировская	220	Ставропольский	500
Костромская	300	Тамбовская	400
Краснодарский	1370	Тверская	380
Красноярский	230	Томская	140
Курганская	370	Тюменская	260
Курская	500	Тульская	270
Ленинградская	430	Ульяновская	340
Липецкая	320	Хабаровский	120
Московская	310	Читинская	120
Нижегородская	300	Челябинская	320
Новгородская	320	Якутия	110
Новосибирская	240	Ярославская	360

## 10 Экономическая эффективность

Экономическую эффективность оценивают по суммарным приведенным затратам

$$P_{\text{прив}} = K_0 \frac{E_n}{E_{\text{нп}}} + \sum_{t=1}^T \frac{\mathcal{E}_t}{(1 + E_{\text{нп}})^t}, \quad (16)$$

где  $K_0$  – стоимость строительства, определенная выше;  $E_n = 0,12-0,14$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в дорожное строительство;  $E_{\text{нп}}=0,08$  – коэффициент приведения разновременных затрат к базисному году;  $T$  – срок службы покрытия.  $\mathcal{E}_t$  – текущие эксплуатационные затраты на содержание автомобильной дороги, перевозки, ремонты в году  $t$ ,

$$\mathcal{E}_t = \mathcal{E}_t^{\text{дэ}} + \mathcal{E}_t^{\text{др}} + \mathcal{E}_t^{\text{тр}} + \mathcal{E}_t^{\text{ДТП}} + \mathcal{E}_t^{\text{вр}}, \quad [\text{тыс. у.е.}], \quad (17)$$

где  $\mathcal{E}_t^{\text{др}}$  – ежегодные затраты на содержание дороги;  $\mathcal{E}_t^{\text{др}}$  – стоимость среднего ремонта;  $\mathcal{E}_t^{\text{тр}}$  – затраты на перевозки грузов;  $\mathcal{E}_t^{\text{ДТП}}$  – потери от ДТП;  $\mathcal{E}_t^{\text{вр}}$  – потери времени пассажиров в пути.

Стоимость содержания дороги

$$\mathcal{E}_t^{\text{дэ}} = 0,72\% K_0 = 0,0072 K_0, \quad [\text{тыс. у.е.}], \quad (18)$$

Стоимость среднего ремонта

$$\mathcal{E}_t^{\text{др.}} = 7\% K_0 = 0,07 K_0, \text{ [тыс. у.е.]} \quad (19)$$

Стоимость перевозок грузов

$$\mathcal{E}_t^{\text{гр.}} = T_{\text{раб}} \cdot N_{\text{пер}} \cdot L_{\text{тр}} \left( S_{\text{пер}} + \frac{S_{\text{пост}} + d_{\text{т}}}{\bar{V}_{\text{ср.т.}}} \right), \text{ [тыс. у.е.]} \quad (20)$$

где  $T_{\text{раб}}$  – количество рабочих дней в году, 250 дней;  $N_{\text{пер}}$  – перспективная интенсивность грузового движения, авт./сут;  $S_{\text{пер}}$  – средневзвешенные с учётом состава движения переменные расходы на 1 км пробега (топливо, износ шин, амортизация подвижного состава, техобслуживание и т.д.), для дорог II категории – 0,03 у.е./км; III-IV категории – 0,07 у.е./км;  $S_{\text{пост}}$  – постоянная составляющая (накладные расходы), для дорог II категории – 0,27 у.е./ч; III-IV – 0,39 у.е./ч;  $d_{\text{т}}=0,54$  у.е./ч – средняя тарифная ставка водителя;  $L_{\text{тр}}$  – длина трассы, км;  $\bar{V}_{\text{ср.т.}}$  – среднетехническая скорость расчётного автомобиля, км/ч.

Потери от ДТП

$$\mathcal{E}_t^{\text{ДТП}} = 3,65 \cdot 10^{-6} \cdot M \cdot \Pi_t^{\text{ср}} \cdot N_t \cdot \sum_{i=1}^n l_i \cdot a_{ii}, \text{ [тыс. у.е.]} \quad (21)$$

где  $\Pi_t^{\text{ср}}=4680$  у.е. – средние потери от одного происшествия в году  $t$ ;  $N_t=N_{\text{пер}}$  – интенсивность движения в году; авт./сут;  $l_i$  – длина  $i$ -го участка с однородными дорожными условиями, км;  $a_{ii}$  – ожидаемое количество ДТП в году  $t$ .

Можно упростить это выражение

$$\mathcal{E}_t^{\text{ДТП}} = 3,65 \cdot 10^{-6} \cdot M \cdot \Pi_t^{\text{ср}} \cdot N_t \cdot L_{\text{тр}} \cdot a_t, \quad (22)$$

где

$$a_t = 0,009 \bar{K}_{\text{ав}}^2 - 0,27 \bar{K}_{\text{ав}} + 34,5, \quad (23)$$

$\bar{K}_{\text{ав}}$  – средневзвешенный итоговый коэффициент аварийности;  $M$  – коэффициент, учитывающий тяжесть потерь от ДТП,

$$M = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_{11}, \quad (24)$$

где  $m_1, m_2, \dots, m_{11}$  определяются по табл. 4.

Потери времени пассажиров в пути

$$\mathcal{E}_t^{\text{вр.}} = 0,25 T_{\text{раб}} \left[ N_{\text{лег}} \frac{L_{\text{тр}}}{\bar{V}_{\text{ср.т.}}} \cdot P_{\text{л}} + N_{\text{авт}} \frac{L_{\text{тр}}}{\bar{V}_{\text{ср.т.}}} \cdot P_{\text{а}} \right], \text{ [тыс. у.е.]} \quad (25)$$

где  $T_{\text{раб}}$  – количество рабочих дней;  $N_{\text{лег}}$ ,  $N_{\text{авт}}$  – количество легковых автомобилей и автобусов соответственно в перспективной интенсивности движения,  $L_{\text{тр}}$  – длина трассы, км;  $P_{\text{л}}=5$  человек – вместимость легкового автомобиля;  $P_{\text{а}}=45$  человек – вместимость автобуса.

Так как расчёты комплексной оценки безопасности ведут на 20-й год, то принимают  $T=20$  лет и для  $P_{\text{прив}}$  можно оценить верхнюю границу по неравенству

$$P_{\text{прив}} < K_o \frac{E_n}{E_{\text{нп}}} + 20\Theta_{20} \cdot \sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+E_{\text{нп}})^t}, \quad (26)$$

где

$$\sum_{t=1}^{20} \frac{1}{(1+E_{\text{нп}})^t} = \frac{1}{(1+E_{\text{нп}})^1} + \frac{1}{(1+E_{\text{нп}})^2} + \dots + \frac{1}{(1+E_{\text{нп}})^{20}} = 9,37.$$

Таблица 4 – Коэффициенты, учитывающие тяжесть потерь от ДТП

№	Учитываемые факторы		$m$
1	Ширина проезжей части, м:	4,5	0,7
		6,0	1,2
		7,0-7,5	1,0
		9,0	1,4
2	Ширина обочин, м:	более 2,5	0,85
		менее 2,5	1,0
3	Продольный уклон, ‰:	более 30	1,25
		менее 30	1,0
4	Радиусы кривых в плане, м:	менее 350	0,9
		более 350	1,0
5	Недостаточная видимость		0,7
6	Мосты и путепроводы с бордюром высотой, см	до 30	2,1
		более 30	1,4
7	Пересечение в разных уровнях		0,95
8	Пересечение в одном уровне		0,8
9	Населенные пункты		1,6
10	Число полос движения, шт:	2	1,1
		3	1,3
11	Препятствия на обочинах и разделительной полосе		1,5

### Источники информации

1. Проектирование автомобильных дорог: справочник инженера-дорожника / под ред. Г.А. Федотова. – М.: Транспорт, 1989. – 437 с.
2. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. 139 с.