

Л Е К Ц И Я 1

Основные сведения о дорогах. Основы расчетов движения автомобилей по дороге

Литература

1. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог/ ч. 1 – М. – Транспорт , 1987, стр 10-63.

1. Сеть автомобильных дорог

Как известно, основной объем грузовых и пассажирских перевозок (около 80% грузов и более 90%) осуществляется автомобильным транспортом. Для успешной работы автомобильного транспорта необходимы соответствующие пути сообщений – автомобильные дороги.

Дороги, соединяющие населенные пункты, промышленные центры, предприятия и сельскохозяйственные районы между собой и с погрузо-разгрузочными пунктами других видов транспорта образуют сеть автомобильных дорог.

Рациональное начертание сети дорог зависит от взаимного расположения корреспондирующих пунктов, объема грузовых и пассажирских перевозок между ними, ценности занимаемых земель и многих других факторов. Построение оптимальной сети дорог – это сложная многогранная задача, решением которой будем заниматься при изучении других разделов.

2. Характеристики движения по автомобильным дорогам

Основной характеристикой, определяющей значимость автомобильной дороги, является интенсивность движения – количество автомобилей, проходящих в единицу времени через некоторое сечение дороги (авт/сут, авт/час). Интенсивность движения величина переменная. Она изменяется в течение года, месяца, недели и даже дней недели.

При проектировании автомобильных дорог движение чаще всего характеризуют средним за год количеством автомобилей, проходящих по участку в сутки, называемым среднегодовой суточной интенсивностью движения.

Значимость дороги или её категорию устанавливают по перспективной на 20 лет интенсивности движения, которая будет наблюдаться не сегодня а толь через 20лет после разработки проекта.

Перспективная интенсивность движения может быть определена по зависимостям:

$$N_t = N_0 (1 + bt) \text{ - линейная;}$$

$$N_t = N_0 (1 + b)^t \text{ - показательная;}$$

$$N_t = N_0 e^{bt} \text{ - сложные проценты.}$$

Важной характеристикой является грузонапряженность – масса перевозимых за год грузов.

Между интенсивностью и грузонапряженностью существует зависимость

$$Q_{\text{гр}} = N_{\text{з}} \Gamma_{\text{ср}} \gamma \beta T_{\text{раб}},$$

где $N_{\text{з}}$ – интенсивность грузовых автомобилей, авт/сут;

$\Gamma_{\text{ср}}$ – средняя грузоподъемность, тн;

γ – коэффициент использования грузоподъемности;

β – коэффициент использования пробега;

$T_{\text{раб}}$ – количество рабочих дней в году.

$$\Gamma_{\text{ср}} = \Gamma_1 p_1 + \Gamma_2 p_2 + \dots + \Gamma_n p_n,$$

где p_n – доля данного типа автомобилей в транспортном потоке.

3. Классификация автомобильных дорог

Автомобильные дороги Украины по народнохозяйственному и административному значению подразделяются на: общего пользования ведомственные и частные.

К дорогам общего пользования (в соответствии с пунктом 4.1 ДБН В.2.3 – 4:2007) относятся государственные и местные дороги.

К государственным относятся: международные, национальные и региональные. К местным – территориальные, областные и районные.

В зависимости от перспективной интенсивности движения автомобильные дороги делят на 5 категорий (табл. 4.1 ДБН).

Таблица 4.1 ДБН

Категория дороги	Интенсивность авт/сутки		Расчетная скорость, км/час			Макс. прод. ук- лон, ‰
	Фактичес.	Привед.	основная	В перес. местн	В горной местности	
I а	>10000	>14000	150	120	100	30
I б	>10000	>14000	140	110	80	35
II	3000 - 10000	5000 - 14000	120	100	60	40
III	1500 - 3000	2500 - 5000	100	80	50	50
IV	100 - 1500	300 - 2500	90(80)	60	30	55(60)
V	До 100	До 300	90(60)	40	30	55(70)

Если в состав легковых автомобилей в транспортном потоке 30% и более, категорию дороги устанавливают по расчетной интенсивности, приведенной к легковому автомобилю. Приведение к легковому автомобилю производится по формуле

$$N_{i \text{ прив}} = N_i K_i,$$

Где N_i – фактическая интенсивность i -го типа автомобилей;

K_i – коефіцієнті приведення, приймаєміє по табл..4.3 ДБН.

Коэффициент приведения для грузовых автомобилей и автопоездов при проектировании дорог в пересеченной и горной местности следует увеличивать в 1,2 раза.

Расчетная скорость для проектирования плана, прокольного и поперечного профиля приведена в табл..4.1.

4. Сила тяги и сопротивления движению автомобіля

Сила тяги, равиваемая двигателем автомобиля, определяется по формуле

$$P_p = 9.57 \frac{N_e i_k i_0}{n_e r_k}, \text{ (Н)}.$$

Силы сопртивления, действующие на автомобиль:

Сила сопротивления качению

$$P_f = G f ;$$

Сила сопротивления воздуха

$$P_w = \frac{k_{\epsilon} F V^2}{13}$$

Сила сопротивления движению на подъем

$$P_i = G i$$

Сила сопротивления инерции

$$P_j = G j, \quad \left(j = \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} \right)$$

Условие равенства внутренних и внешних сил характеризуется уравнением движения автомобиля

$$P_p = P_f \pm P_i + P_w \pm P_j .$$

Из уравнения движения можно получить

$$\frac{P_p - P_w}{G} = f \pm i \pm j .$$

Левая часть этого выражения представляет собой динамический фактор

$$\frac{P_p - P_w}{G} = D$$

Следовательно $D = f \pm i \pm j$.

Динамический фактор характеризует запас тягового усилия на единицу веса автомобиля, который может быть израсходован на преодоление дорожных сопротивлений (f, i) и ускорения (j).

5. Сцепление шин с поверхностью дороги.

Торможение автомобиля

Тяговое усилие на колесах автомобиля может быть развито только в том случае, если между ведущими колесами и дорогой имеется достаточное сцепление, характеризуемое коэффициентом сцепления φ .

Коэффициентом сцепления принято называть отношение тягового усилия на колесе P_p к вертикальной нагрузке на колесо, при превышении которого начинается пробуксовывание колеса, т.е. $\varphi = \frac{P_p}{G_k}$.

Различают коэффициент продольного и поперечного сцепления, между которыми существует связь $\varphi = \sqrt{\varphi_{np}^2 + \varphi_{поп}^2}$.

Коэффициент сцепления зависит от состояния покрытия. Согласно ДБН В.2.3 – 4:2007 при легких условиях движения должно быть обеспечено значение $\varphi_{np} = 0,45$; при затрудненных - $\varphi_{np} = 0,5$, при опасных - $\varphi_{np} = 0,55$.

От сцепления колеса с покрытием зависит тормозной путь автомобиля, который определяется по формуле

$$S = \frac{V}{3.6} + \frac{K_9 V^2}{254(\varphi \pm i + f)} + l_3.$$

Динамический фактор по сцеплению определяется по формуле

$$D_{cy} = \frac{G_k \varphi_{np} - P_w}{G}.$$

Он должен быть больше динамического фактора по тяговому усилию, т.е. $D_{cy} \geq D$.

6. Задачи, решаемые при помощи графика динамических характеристик

- определение максимального продольного уклона

$$i = D - f;$$

- определение равновесной скорости

$$D = f + i.$$

ЛЕКЦИЯ 2

Основы расчетов элементов плана и профиля дороги

Литература: Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог/ ч. 1 – М. – Транспорт , 1987, стр 63 - 98.

1. Движение автомобилей по кривым в плане

На автомобиль, движущийся по криволинейному участку дороги, действует центробежная сила, величина которой определяется по известной формуле

$$C = \frac{m v^2}{R} \text{ (произведение массы на центробежное ускорение) и сила тяжести}$$

автомобиля G (произведение массы на ускорение свободного падения - mg).

Проекцию равнодействующей этих сил на поверхность параллельную поверхности дороги называют поперечной силой

$$Y = \frac{m v^2}{R} \cos \alpha \pm m g \sin \alpha; \quad \cos \alpha \approx 1; \quad \sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = i$$

$$\text{Тогда } Y = \frac{m v^2}{R} \pm m g i.$$

После деления этого выражения на массу (mg) получим

$$\frac{Y}{mg} = \frac{v^2}{gR} \pm i, \text{ откуда получим выражение для радиуса кривой в виде}$$

$$R = \frac{v^2}{g \left(\frac{Y}{mg} \pm i \right)}. \text{ Выражение } \frac{Y}{mg} \text{ обозначим буквой } \mu \text{ и назовем его коэффициентом}$$

поперечной силы. С учетом этого выражение радиуса кривой примет сле-

дующий вид $R = \frac{v^2}{g(\mu \pm i)}$. Если скорость выразить в км/ч, зависимость следую-

щий вид $R = \frac{V^2}{g(\mu \pm i)}$.

Коэффициент поперечной силы может определяться из условия устойчивости против заноса, против опрокидывания, удобства проезда кривой, экономичности и должен иметь значения:

$\mu \leq \varphi_{non}$ из условия устойчивости против заноса. Коэффициент поперечного сцепления принимают равным 0,7 – 0,6 коэффициента продольного сцепления.

$\mu \leq 0,6$ из условия устойчивости против опрокидывания;

$\mu \leq 0,15 \dots 0,2$ из условия удобства проезда;

$\mu \leq 0,1$ из условий экономичности.

В практических расчетах коэффициент поперечной силы принимают 0,12...0,18.

Минимальная величина радиусов кривых в плане ограничивается строительными нормами (ДБН В.2.3-4-2007, табл 5.6)

Скорость движения, км/ч	150	140	120	100	90	80	60	50	30
Категория дороги	Ia	Iб	II	III	IV.V				
Минимальный радиус, м	1200	1100	800	600	450	300	150	100	30

2. Переходные кривые

Переходные кривые устраиваются при радиусе круговой кривой 2000м и менее. Они предназначены для плавного перехода от прямолинейного участка к круговой кривой. Основной особенностью переходных кривых является то, что радиус кривизны их плавно изменяется от $r = \infty$ (для прямых) до $r = R$ (для круговых кривых).

Наиболее распространенным типом переходной кривой является клотоида, уравнение которой записывается в виде $r = \frac{C}{l}$, где $C = RL$.

Минимальная длина переходной кривой определяется по формуле

$$L = \frac{V^3}{47 R J}$$
, где J – скорость нарастания центростремительного ускорения (0,5...0,6 м/с³).

В прямоугольной системе координат уравнение клотоиды имеет вид

$$\left. \begin{aligned} X &= \ell - \frac{\ell^3}{40C^2} + \frac{\ell^9}{3456C^4} \\ Y &= \frac{\ell^3}{6C} - \frac{\ell^7}{336C^3} + \frac{\ell^{11}}{42240C^5} \end{aligned} \right\}$$

Введение и разбивка переходной кривой возможна, если выполняется условие $2\beta \leq \alpha$, где $\beta = \frac{L}{2R}$ - угол клотоиды в радианах (1рад = 57029577°).

Напомним, что элементы закругления без переходных кривых определяются по формулам:

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad B = R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right);$$

$$K = \frac{\pi R \alpha}{180}; \quad D = 2T - K.$$

Элементы закругления с учетом переходной кривой определяются по формулам:

$$T_3 = T_0 + t; \quad K_3 = \frac{\pi R(\alpha - 2\beta)}{180} + 2L;$$

$$B_3 = B_0 + pж \quad D_3 = 2T_3 - K_3,$$

$$t = X - R \cdot \sin \beta \quad (t \approx 0.5L) - \text{тангенс клотоиды},$$

где:

$$p = y - R(1 - \cos \beta) - \text{сдвигка круговой кривой}.$$

3. Уширение проезжей части на кривых

Проезжую часть в пределах кривых малых радиусов для повышения безопасности движения необходимо уширять.

Теоретически величина уширения определяется по формуле

$$\Delta = \frac{l^2}{2R} + \frac{0.5v}{\sqrt{R}}, \text{ где } l - \text{длина автомобиля.}$$

Строительные нормы (ДБН В.2.3-4=2007, табл. 5.4) предусматривают уширение при $R \leq 1000\text{м}$.

Величина уширения устанавливается от 0,3м при $R = 1000\text{м}$ до 1,75м при $R = 95\text{м}$ на одну полосу движения.

4. Вирази

Для повышения безопасности движения по кривым в плане малых радиусов в пределах этих кривых устраивается проезжая часть с односкатным поперечным профилем. Такой участок дороги называется виражом. По строительным нормам (п. 5.1.3 ДБН) виражи устраивают на всех кривых с радиусами 3000м и меньше на дорогах второй и третьей категорий и 800м и менее на остальных.

Переход от двухскатного профиля к односкатному называется отгоном виража. Отгон виража осуществляется в пределах переходной кривой. Если переходная кривая не устраивается, минимальная длина отгона виража определяется по формуле

$$L_{отг} = B \cdot i_{вир} / i_{доп},$$

Где B – ширина проезжей части, м;

$i_{доп}$ – дополнительный продольный уклон на участке отгона виража, принимаемый: 5‰ – на дорогах первой и второй категорий; 10‰ – для остальных дорог в равнинной местности и 20‰ – в горной и пересеченной местности;

$i_{вир}$ – уклон виража, принимаемый в зависимости от радиуса круговой кривой в пределах от 25‰ до 60‰.

5. Требования к видимости на дорогах.

Обеспечение видимости на кривых в плане

На прямолинейных, в плане и профиле, участках автомобильной дороги видимость проезжей части обеспечивается на большие расстояния. На кривых в плане и у переломов продольного профиля видимый участок дороги значительно уменьшается. В таких местах необходимо обеспечить расчетную видимость – расстояние перед автомобилем, на котором водитель должен видеть перед собой до-

рогу, чтобы, заметив препятствие, осознать его опасность и успеть объехать препятствие или затормозить и остановиться перед ним.

В теории проектирования дорог предложено много схем видимости. Наиболее простыми являются схемы, предусматривающие остановку автомобиля перед препятствием.

В таких схемах расчетное расстояние видимости определяется по формуле

$$S = \frac{V}{3.6} + \frac{K_9 V^2}{254(\varphi_{np} \pm i + f)} + l_3 \quad (\text{аналогичная расчетному тормозному пути.})$$

му пути.

На кривых в плане видимость обеспечивается путем срезки внутреннего откоса в выемке или вырубке леса и кустарников на зеленых территориях

6. Назначение продольных уклонов на дорогах

Теоретически значение максимального продольного уклона определяется по формуле

$$i = D - f.$$

Строительные нормы (табл. 5.6 ДБН) рекомендуют назначать продольные уклоны в зависимости от расчетной скорости:

V, км/ч	150	140	120	110	100	90	80	60	50	30
i, ‰	30	35	40	45	50	55	60	70	80	100

7. Определение радиусов вертикальных кривых

Вертикальные кривые на автомобильных дорогах описывают по окружности. Однако при небольших длинах и больших радиусах окружность мало отличается от параболы, уравнение которой записывается в виде

$$y = \frac{x^2}{2R}.$$

Из этой формулы вытекает, что уклон в любой точке криво определяется по формуле

$$\frac{dy}{dx} = i = \frac{x}{R}. \quad \text{Так как } x \approx l, \quad i = \frac{l}{R}, \quad \text{откуда } l = i \cdot R.$$

Расстояние между двумя точками на кривой с уклонами i_1 и i_2

$$l = R|i_1 - i_2|.$$

Уклоны здесь принимаются со знаками: + на подъем, - на спуск.

Минимальный радиус вертикальной кривой определяется из условия видимости поверхности дороги

$$R = \frac{L^2}{2h},$$

где h - высота глаз водителя над поверхностью дороги.

Радиус вогнутой кривой определяется по формулам:

$$R = \frac{v^2}{j} \text{ или } R = \frac{V^2}{13j},$$

где v в м/с а V в км/ч;

j – центробежное ускорение.

А по условию видимости в ночное время

$$R = \frac{S^2}{2(h + S \cdot \sin \alpha)}.$$

8. Ширина проезжей части и обочин

Для двухполосных дорог ширина проезжей части может быть определена по формуле проф. Н.Ф.Хорошилова

$$B = b + c + 2y + x,$$

где b – ширина кузова автомобиля;

c – колея автомобиля;

x – зазор между кузовами встречных автомобилей;

y – расстояние от внешней грани следа колеса до края проезжей части, м.

$$x = 0.3 + 0.1\sqrt{2V}$$

$$y = \sqrt{0.1 + 0.0075V}, \text{ где } V \text{ в км/ч}$$

Ширина проезжей части и обочин нормируется

Категория	Ia	Iб	II	III	IV	V
Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,75	3,50	3,00	4,50
Ширина обочин, м	3,75	3,75	3,75	2,5	2,0	1,75
Ширина земполотна, м	28,5 36,0 43,5	28,5 36,0	15,0	12,0	10,0	8,0