



Министерство образования  
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Инженерная геодезия»

В.Г. Мархвида  
В.А. Глинская

**ЭЛЕМЕНТЫ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ  
ИЗЫСКАНИЙ В ДОРОЖНОМ  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*Учебно-методическое пособие*

Минск 2005

Министерство образования Республики Беларусь  
**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

Кафедра «Инженерная геодезия»

**В.Г. Мархвида**  
**В.А. Глинская**

**ЭЛЕМЕНТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ  
ИЗЫСКАНИЙ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»  
специализации 1-70 03 01 01 «Строительство дорог и аэродромов»

Минск 2005

УДК 625.71.8.04 (075.8)

ББК 39.311я7

М 29

Рецензенты:

М.Я. Куделко, В.И. Михайлов

**Мархвида В.Г.**

М 29    Элементы инженерно-геодезических изысканий в дорожном строительстве: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» специализации 1-70 03 01 01 «Строительство дорог и аэродромов» / В.Г. Мархвида, В.А. Глинская. – Мн.: БНТУ, 2005. – 32 с.  
ISBN 985-479-247-1

Методическое пособие составлено в соответствии с учебной программой по инженерной геодезии и предназначено для изучения работ, выполняемых при инженерно-геодезических изысканиях автомобильных дорог.

Оно позволит студентам ознакомиться со стадиями линейных сооружений, трассой и ее элементами, полевым и камерным трассированием, обработкой результатов, полученных в результате измерений.

УДК 625.71.8.04 (075.8)

ББК 39.311я7

М 29

ISBN 985-479-247-1

© Мархвида В.Г., 2005

© БНТУ, 2005

## 1. СТАДИИ И СОДЕРЖАНИЕ ИНЖЕНЕРНО - ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Инженерно - геодезические изыскания (ИГИ) – это подробное изучение местности в выбранном для строительства направлении трассы. *Трасса*- ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная на топографической карте, плане, фото и электронном носителе информации или местности. Наиболее полно изучить местность можно по топографической карте (плану), фотоплану, профилю, которые служат основой для проектирования автомобильной дороги и других линейных сооружений, а также являются необходимыми данными для проведения других видов изысканий и обследований.

Стадии инженерно - геодезических изысканий (в дальнейшем «изыскания»):

- для обоснования инвестиций в строительство объектов;
- для архитектурного проекта;
- для строительного проекта;
- в период строительства;
- по окончании строительства.

Изыскания для *разработки обоснований инвестиций в строительство* заключаются в сборе и анализе имеющихся в наличии топографических карт, планов, фотоматериалов и геодезической основы в районе строительства.

При достаточности собранных материалов полевые работы не выполняют.

Изыскания для *архитектурного проекта «А»* включают:

- сбор и анализ имеющихся топографо-геодезических материалов по направлению трассы;
- камеральное трассирование вариантов трассы;
- полевое обследование камерально намеченных вариантов трассы;
- полевое трассирование с проложением теодолитных или тахеометрических ходов;

- топографическую съемку вдоль намеченных вариантов трассы, переходов через искусственные и естественные препятствия, пересечения коммуникаций, площадок. Допускается выполнять топографическую съемку притрассовой полосы, обеспечивающую возможность проектирования вариантов трассы;

- геодезическое обеспечение других видов изысканий (инженерно-геодезических, инженерно - геоэкологических, инженерно-гидрологических и др).

В изыскания для *строительного проекта «С»* входят:

- полевое трассирование;

- плано-высотная привязка трассы к пунктам опорной геодезической сети;

- топографическая съемка полосы местности вдоль трассы (при наличии планов прошлых лет выполняют съемку текущих изменений) в масштабах 1:1000, 1:500;

- геодезическое обеспечение других видов изысканий.

Состав и объем работ по инженерно – геодезическим изысканиям уточняется программой изысканий.

## 2. ТРАССА ЛИНЕЙНОГО СООРУЖЕНИЯ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Трасса представляет собой сложную пространственную линию, состоящую из прямолинейных участков, сопрягающихся между собой горизонтальными и вертикальными кривыми.

По материалам геодезических изысканий составляют план трассы - ее проекцию на горизонтальную плоскость и продольный профиль - вертикальный разрез по проектируемой линии. На рис. 2.1 трасса состоит из трех прямолинейных участков, сопрягающихся круговыми кривыми радиусов  $R_1$  и  $R_2$ . Точки сопряжения прямых и кривых называются *главными точками кривой*, к ним относят и точку СК. Это точки НК - начало кривой, КК - конец кривой, СК – середина кривой.

ВУ<sub>1</sub>- вершина правого угла поворота  $\theta_1$ ,

ВУ<sub>2</sub>- вершина левого угла поворота  $\theta_2$ .

Угол поворота  $\theta$  – это горизонтальный угол между продолжением предыдущего прямолинейного направления трассы и направлением последующего прямолинейного участка.

$\beta_1$  и  $\beta_2$  – измеряемые справа по ходу горизонтальные углы трассы.

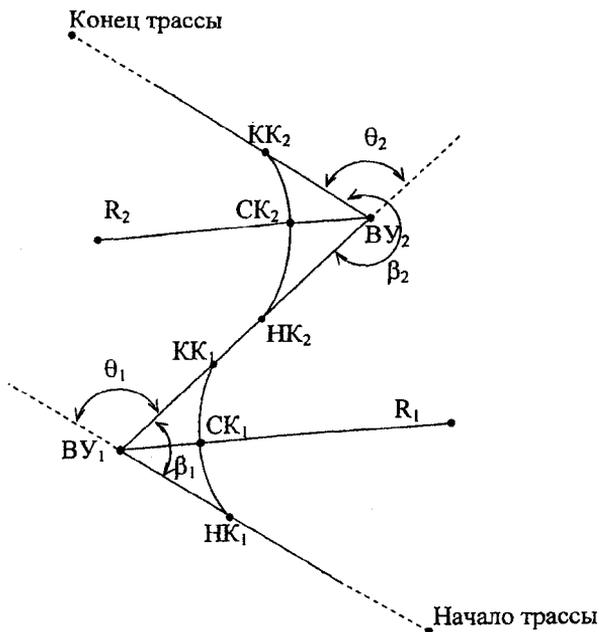


Рис. 2.1. Трасса линейного сооружения

### 3. ЭЛЕМЕНТЫ КРУГОВОЙ КРИВОЙ

Круговая кривая есть дорожное закругление постоянного радиуса. Угол поворота  $\theta$  и радиус закругления  $R$  являются исходными для вычисления остальных элементов.

$T$  – тангенс – расстояние от начала (конца) круговой кривой до ВУ;

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}, \quad (3.1)$$

$K$  – длина кривой, т.е. длина дуги ABC окружности;

$$K = \frac{\theta \pi R}{180}, \quad (3.2)$$

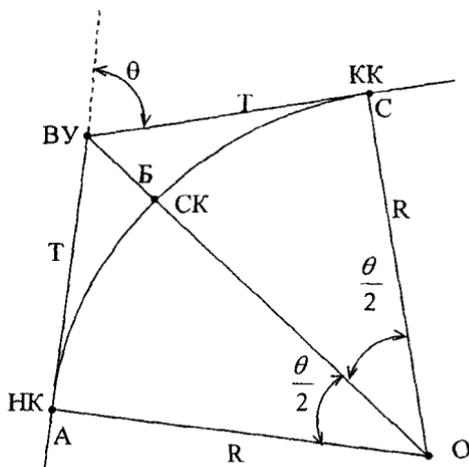


Рис. 3.1. Круговая кривая

$B$  – биссектриса – расстояние от ВУП до середины кривой (СК);

$$B = OD - OB = \frac{R}{\cos \frac{\theta}{2}} - R = R \left( \sec \frac{\theta}{2} - 1 \right), \quad (3.3)$$

$D$  – домер, разность между ломаной и кривой линиями, соединяющими главные точки кривой;

$$D = 2T - K. \quad (3.4)$$

Значения элементов кривой  $T$ ,  $K$ ,  $B$ ,  $D$  вычисляются или определяются по таблицам разбивки круговых и переходных кривых. На углах поворота трассы производят разбивку и закрепление главных точек кривой: начало кривой (НК), конец кривой (КК) и середину кривой (СК). Исходными данными для расчета являются: пикетное значение вершины угла поворота и значения  $T$ ,  $K$ ,  $B$ ,  $D$  (см. параграф 6).

$$HK = BU - T,$$

$$CK = HK + 0,5 K,$$

$$KK = HK + K.$$

**Контроль:**  $KK = BU + T - Д.$

Например, при  $\theta = 35^{\circ}00'$  и  $R=1000$  значения

$$T=315,30; K=610,87; Д=19,73; Б=48,53.$$

Пикетное значение вершины угла поворота составляет ПК 11+30.

<i>Контроль:</i>			
	ВУ	ПК 11+30,00,	
-	Т	3+15,30,	+
	НК	ПК 8+14,70,	Σ
+	К	6+10,87,	-
	КК	ПК 14+25,57,	КК
			ПК 14+25,57.

#### 4. ПЕРЕХОДНЫЕ КРИВЫЕ

Переходные кривые необходимы для плавного перехода движущегося автомобиля от прямолинейного направления на круговую кривую и наоборот. Радиус переходных кривых  $\rho$  непрерывно меняется от бесконечности (в начале переходной кривой) до радиуса круговой кривой (в точке сопряжения с последней). В качестве переходных кривых чаще используют клотоиду переменного радиуса кривизны

$$\rho = \frac{A^2}{S}, \tag{4.1}$$

где  $A = \sqrt{R \cdot L} = \sqrt{\rho \cdot S}$  – параметр клотоиды,

$S$  – расстояние от начала переходной кривой до точки с радиусом  $\rho$ ,

$L$  – длина переходной кривой.

Для заданной расчетной скорости  $v$  и принятому уклону  $i$  параметр переходной кривой будет

$$A^2 = R \cdot L = \rho \cdot S, \quad (4.2)$$

При  $S' = 0$  (НПК),  $\rho = \infty$ ;

$S = L$  (КПК),  $\rho = R$ .

Для более гармоничного сочетания автомобильной дороги с ландшафтом и придания ее кривым лучшей плавности проектирование дорог выполняют сплошными клотоидными закруглениями. Каждое клотоидное закругление состоит из двух взаимно сопрягаемых клотоид с возможной вставкой круговой кривой между ними (рис. 4.1). Величину радиуса  $R$  и длину переходной кривой  $L$  назначают в соответствии с категорией дороги. Величину  $\theta$  получают из измерений. На основании указанных величин вычисляют смещение начала закругления  $t$  и величину сдвижки  $p$  круговой кривой к центру по формулам:

$$t = L/2 - L^3/240 \cdot R^2, \quad (4.3)$$

$$p = L^2/24R - L^4/2688 \cdot R^4. \quad (4.4)$$

С учетом вычисленных величин  $t$  и  $p$  определяют элементы закругления с введением переходной кривой:

$$T = (R+p) \operatorname{tg} \theta/2 + t, \quad (4.5)$$

$$K = \frac{\pi R \theta^\circ}{180^\circ} + L = 0,0174533 \cdot R \cdot \theta + L, \quad (4.6)$$

$$K_0 = \frac{\pi R \cdot (\theta - 2\beta)}{180^\circ}, \quad (4.7)$$

$$B = (R+p) \sec \theta/2 - R, \quad (4.8)$$

$$D = 2(T+t) - (K_0 + 2L). \quad (4.9)$$

Так как переходные кривые уменьшают угол поворота трассы на величину  $2\beta$ , устройство переходных кривых возможно при условии:

$$\theta \geq 2\beta,$$

Так, при  $\theta = 2\beta$  конец первой переходной кривой станет началом второй; круговая кривая отсутствует (клотоидное закругление).



## 5. КАМЕРАЛЬНОЕ ТРАССИРОВАНИЕ

*Трассирование* – комплекс инженерно-геодезических работ по изысканию трассы, которая соответствует всем требованиям технических условий и дает самый большой экономический эффект. Основные параметры, которые учитываются при трассировании автомобильной дороги (углы поворота, радиусы горизонтальных и вертикальных кривых, продольные уклоны), влияют на скорость транспортных средств, расход топлива, утомляемость водителя, безопасность движения. Параметры трассирования задаются категорией дороги.

Трассирование бывает *камеральным*, когда окончательный вариант трассы определяется по топографическим планам, картам или цифровым моделям местности и *полевым*, если трасса выбирается непосредственно на местности.

Между начальным и конечным пунктами выбирается несколько конкурирующих вариантов трассы, которые представляют собой отрезки прямых, соединяющих опорные пункты и фиксированные точки трассы. Дальнейшее уточнение положения трассы производят на стадии технического проекта, путем изучения рельефа местности, ситуации и геологических условий вдоль оси трассы. Камеральное трассирование ведется по картам масштаба 1:100000-1:10000 и крупнее. Трасса прокладывается между фиксированными точками, руководствуясь заданным уклоном  $i_{тр}$  с учетом характера рельефа и категории проектируемой дороги.

При выборе наилучшего варианта трассы руководствуются не только положением линии нулевых работ. Стремясь к прямолинейности трасс, учитывают интенсивность движения и если она значительная, то отдают предпочтение вариантам более спрямленных трасс, даже если это потребует значительного увеличения затрат на строительство.

По заданному уклону трассирования ( $i_{тр}$ ), известному масштабу карты (1:m) и высоте сечения рельефа (h) находят заложение:

$$d = \frac{h}{i_{тр} \cdot m}. \quad (5.1)$$

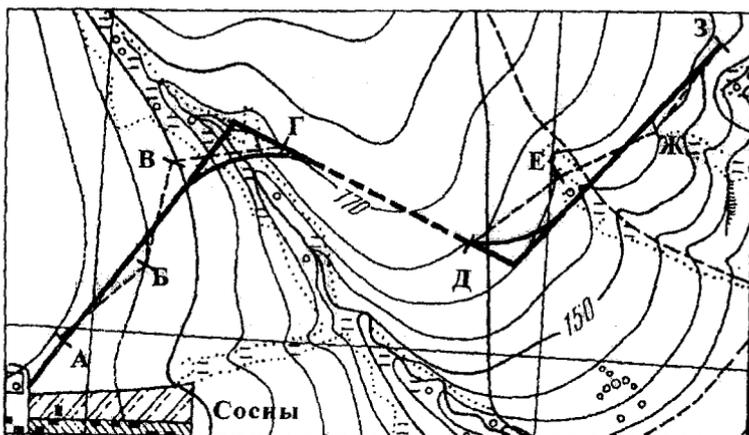


Рис. 5.1. Камеральное трассирование

Например, для карты масштаба 1:50000 при  $h=10$  м и  $i_{тр}=20^\circ$

$$d = \frac{1000 \text{ см}}{0,020 \cdot 50000} = 1 \text{ см.}$$

По найденному расстоянию  $d$  на карте выделяют участки вдоль трассы, отличающиеся друг от друга по характеру трассирования – участки *напряженного* и участки *вольного хода*.

Если на участке длиной 3-5 км осредненный уклон не превышает  $i_{тр}$  ( $i_{мест} < i_{тр}$ ) – то это участок *вольного хода*. На таких участках трасса намечается по желаемому кратчайшему направлению, обходя лишь контурные преграды и участки с неподходящими геологическими условиями. Углы поворота располагают так, чтобы препятствие оказалось внутри угла. Для того, чтобы удлинение трассы ( $\lambda$ ) было минимальным, углы поворота, по возможности, не должны быть больше 15-20°.

$$\lambda = \frac{1 - \cos \theta}{\cos \theta} \quad (5.2)$$

Удлинение трассы в зависимости от угла поворота приведено в таблице.

$\theta$ , в градусах	10	20	30	40	50	60
$\lambda$ , в процентах	1,5	6,4	15,5	30,5	55,5	100

Далее назначают радиусы закругления, измеряют углы поворота и разбивают пикетаж по оси трассы. Определив по горизонталям отметки пикетов строят профиль и наносят на него проектную линию. На основе анализа профиля дают оценку варианта, и если необходимо трассируют другие варианты.

Если  $i_{\text{мест}} > i_{\text{тр}}$  – то такие участки называются участками напряженного хода. На этих участках строится линия нулевых работ. Это такой вариант трассы, при котором заданный проектный уклон соблюдается без устройства насыпей и выемок, т.е. без земляных работ. Линию нулевых работ намечают раствором циркуля, равным  $d$ , засекая последовательно соседние горизонтالي. Найденные точки соединяют отрезками прямых. Таким образом, на карте получают точки А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З (рис. 5.1) образующие линию нулевых работ. Очевидно, что линия нулевых работ не может быть осью будущей трассы, поэтому ее необходимо спрямлять.

После спрямления линии нулевых работ измеряют углы поворота, с помощью специальных шаблонов подбирают радиусы закруглений. Далее по трассе разбивают пикетаж (система обозначения и закрепления точек трассы), который может быть сокращенным (длину пикетов можно увеличивать), находят отметки всех пикетов и точек перелома рельефа. По фактическим отметкам строят продольный профиль, а затем проектируют профиль дороги.

## 6. ПОЛЕВОЕ ТРАССИРОВАНИЕ

*Задача* полевого трассирования – окончательная укладка трассы и закрепление ее на местности. К началу полевого трассирования изыскатели обычно предполагают материалами камерального трассирования по картам.

Строительными нормами Республики Беларусь предусмотрен следующий состав работ при полевом трассировании:

- 1) проложение теодолитных (тахеометрических) ходов по оси трассы с закреплением углов поворота и створных точек;
- 2) закладка реперов;
- 3) разбивка пикетажа, элементов кривых и поперечных профилей;
- 4) нивелирование по трассе и поперечным профилям;
- 5) съемка площадок, переходов, пересечений;
- 6) обработка полевых материалов. Составление плана трассы и продольного профиля.

*Вынесение проекта трассы* с карты на местность производят на основе данных привязки трассы к имеющимся пунктам геодезической основы или к четким, устойчивым во времени контурам местности. Данные для переноса трассы на местность получают в подготовительный период, и они представляют собой полярные или прямоугольные координаты для выноса углов поворота или промежуточных – створных точек трассы от геодезических пунктов плановой основы, элементы прямой угловой или линейной засечки, отдельные расстояния от контуров местности до точек на трассе. Однако предпочтение следует отдавать выносу точек трассы от пунктов геодезической основы, как более надежному и точному способу. Перенос трассы от пунктов ранее проложенных теодолитно-нивелирных ходов – магистралей - считается удобным и целесообразным. Углы поворота и створные точки, окончательно уложенной на местности трассы, закрепляют: углы поворота - деревянными или железобетонными столбами, створные точки – кольями со сторожками. Составляют схему привязок.

Для *определения углов поворота* теодолит устанавливают в вершину угла поворота и измеряют правый по ходу горизонтальный угол  $\beta$ , тогда

$$\theta_1 = 180^\circ - \beta_1 - \text{правый угол}, \quad (6.1)$$

$$\theta_2 = \beta_2 - 180^\circ - \text{левый угол}. \quad (6.2)$$

*Разбивка пикетажа* обычно ведется при помощи стальной ленты в комплекте с 6 шпильками. Пикеты разбиваются по оси трассы через каждые 100 м (на застроенной территории через 20 или 40 м) и закрепляют кольями со сторожками, на которых подписывают номера пикетов. Начало трассы обозначают пикетом нуль (ПК0), далее ПК1, ПК2, ПК3 и т.д. Для более детального отображения рельефа дополнительно фиксируют сторожками плюсовые точки – характерные перегибы рельефа, например ПК8+40 (см. рис.6.1). При разбивке пикетажа на наклонных участках вводят поправки за наклон при  $\nu > 1,5^\circ$ . Чтобы избежать измерения углов наклона и вычисления поправок, изначально обычно ведут разбивку пикетажа удерживая ленту горизонтально и проецируя отвесом на землю приподнятый конец мерного прибора. Вблизи углов поворота разбивка пикетажа осложняется. Пикеты должны разбиваться по кривой, но это невозможно, поэтому пикетаж разбивают по тангенсам, а затем переносят их на кривую. Кроме пикетов должны быть закреплены главные точки кривой - НК, СК, КК.

Разбивку пикетов от ВУ по другой касательной начинают с откладывания от ВУ домера Д (см. рис. 6.1). Найденной точке присваивают пикетажное наименование ВУ и от нее отмеряют недостающее до ближайшего целого пикета расстояние. Пикет закрепляют, а далее разбивку продолжают как обычно до следующего угла поворота. По ходу трассы, зная пикетажное значение конца кривой (КК), закрепляют его кольишком.

Для характеристики рельефа местности, прилегающего к трассе, перпендикулярно оси трассы разбивают поперечники. Их разбивают на пикетах и плюсовых точках, если на них есть изменения рельефа в поперечном направлении. Длины поперечников должны быть несколько больше размеров предполагаемых в этом месте земляных сооружений, т.е. земляного полотна насыпи или выемки (10-30 м от оси в каждую сторону).

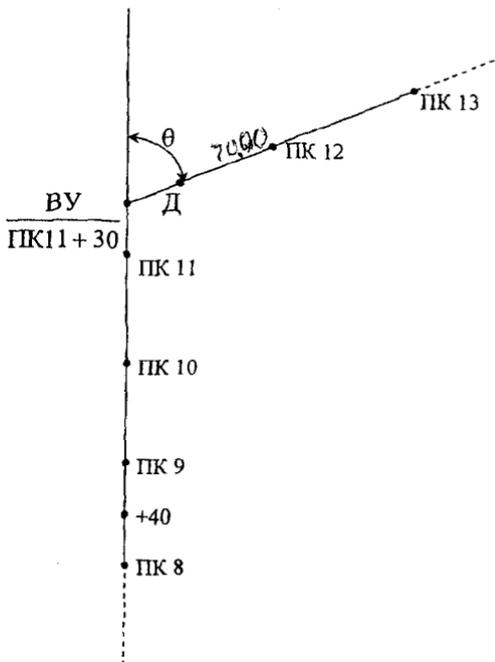


Рис. 6.1. Разбивка пикетов по трассе

Одновременно с разбивкой пикетажа производят плановую съемку контуров местности, прилегающей к трассе. Данные съемки заносят в пикетажный журнал (см. рис. 6.2). Ось сооружения показывают в пикетажном журнале посередине страницы прямой линией. Углы поворота на оси показывают условно стрелками. Контур, прилегающие к трассе снимают, как правило, способом прямоугольных координат и линейных засечек на ширину по 20 м в каждую сторону, а на расстоянии до 100 м – глазомерно.

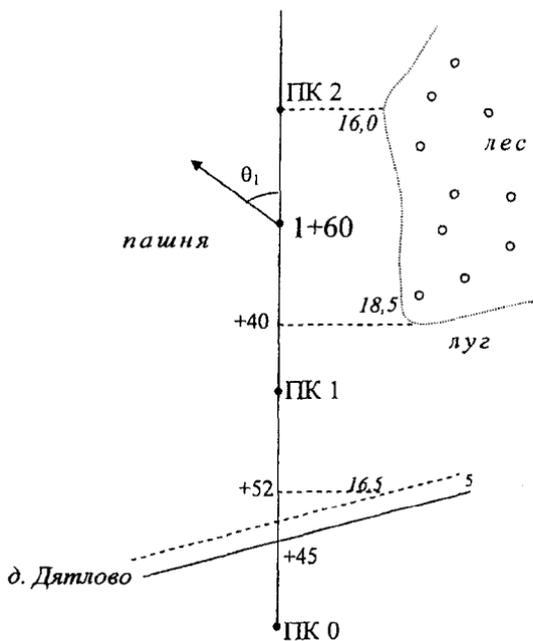


Рис. 6.2. Фрагмент заполнения пикетажной книжки

Конечное назначение разбивки пикетажа по трассе – временное закрепление сравнительно густой сети точек на местности, по которым затем производят техническое нивелирование.

Поскольку с момента завершения изысканий до начала строительства проходит много времени, то разбитый ранее пикетаж бывает частично утрачен. При подготовке к строительству его приходится восстанавливать, пользуясь знаками закрепления углов поворота, отдельными привязками к постоянным предметам местности или пунктам геодезической основы.

В этой связи в последнее время стали применять безлинейный способ. На местности фиксируют не каждый 100-метровый пикет, а только точки, расположенные на характерных формах рельефа и важных для проектирования элементах ситуации. Применение такого способа, особенно в равнинной местности, позво-

ляет значительно сократить число закрепляемых и нивелируемых точек, что особенно важно – позволяет отказаться от использования стальной ленты и применять оптические дальномеры и светодальномеры.

#### *Детальная разбивка круговых кривых*

При детальной разбивке кривых разбивочные точки на оси трассы располагают с равными интервалами, зависящими от радиуса закругления.

При  $R < 100$  м – через 5 м,

От 100-500 м – через 10 м,

При  $R > 500$  м – через 20 м.

Иногда, если есть необходимость интервал может быть уменьшен до 1-2 м.

Наиболее распространенным, точным и простым в применении является способ прямоугольных координат.

Линию  $AB=T$  принимают за ось  $X$  с началом координат в точке НК. координаты точки  $k_1$  определяем из прямоугольного треугольника  $Oak_1$ :

$$x_1 = a \quad k_1 = R \sin \varphi$$

$$y_1 = Aa = AO - ao = R - R \cos \varphi = R(1 - \cos \varphi). \quad (6.3)$$

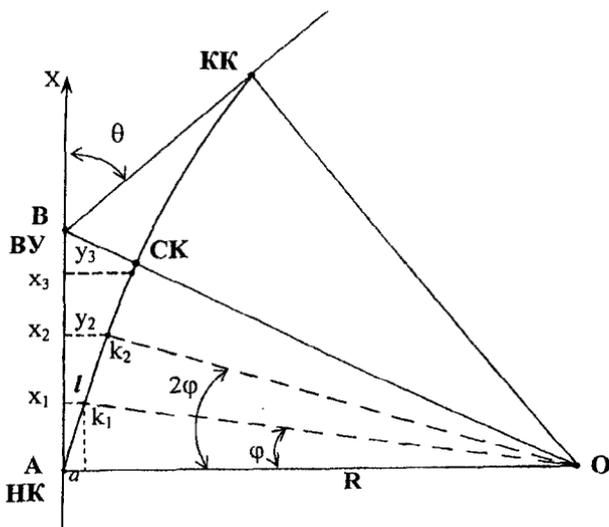


Рис.6.3. Детальная разбивка кривой способом прямоугольных координат

Значение  $\varphi$  вычисляют по заданной длине дуги  $l$ : 
$$\varphi = \frac{l \cdot 180}{\pi R}. \quad (6.4)$$

На местности вдоль линии тангенса от точки НК откладывают абсциссы  $x_1, x_2 \dots$  с точностью  $0,01$  м и в полученных точках восстанавливают перпендикуляры  $y_1, y_2 \dots$ . Точки  $k_1, k_2 \dots$  закрепляют колышками. Вторую половину кривой от КК до СК разбивают аналогично относительно другого тангенса.

При разбивке этим способом длинных кривых, построение точек на кривой затруднено ввиду значительных длин ординат, значения которых с увеличением длины кривой быстро возрастают. Для устранения этого недостатка кривую разбивают пополам (рис.6.4.)

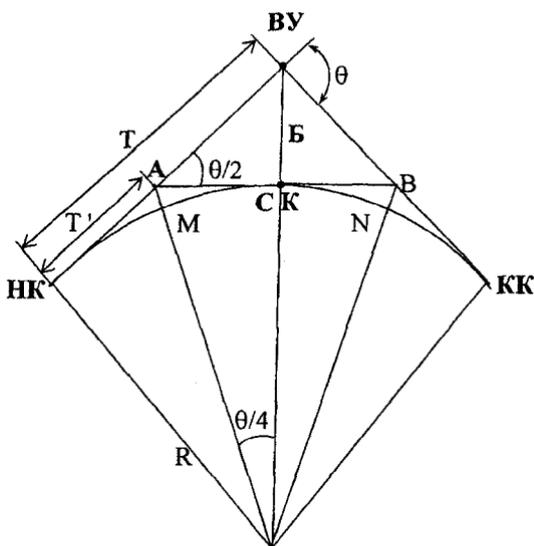


Рис. 6.4. Разбивка длинных кривых

В середине кривой СК проводят касательную, получая точки А и В при пересечении с линиями тангенсов. Эти точки являются вершинами углов поворота для малых кривых с углами поворота  $\theta/2$ . Для них рассчитывают тангенсы  $T'$  по формуле:

$$T' = R \operatorname{tg} \frac{\theta}{4}, \quad (6.5)$$

либо находят по таблицам.

По полученному  $T'$  находят точки А и В. Разбивку ведут по частям от НК к т. М, а затем от СК к т. М и от СК к т. N и, наконец, от КК к т. N.

В случае необходимости кривая может быть разбита подобным образом на две, четыре или восемь частей.

Способ продолженных хорд

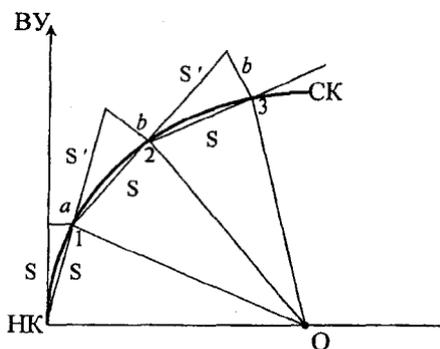


Рис. 6.5. Детальная разбивка кривых способом продолженных хорд

Разбивка производится от точек начала или конца кривой к середине кривой. По заданному радиусу кривой  $R$  и назначенной длине хорды  $S$  рассчитывают величины крайнего  $a$  и промежуточного  $b$  перемещения хорды (или их определяют по таблицам)

$$b = S^2 / R, \quad a = b / 2. \quad (6.6)$$

Положение точки на кривой определяется линейными засечками с концов базиса  $S$ , совпадающего с направлением тангенса и базиса  $S'$ , который представляет продолжение хорды. При этом  $S' = S$ .

Положение первой точки на кривой (см. рис. 6.5.) определяют путем отложения стальной лентой вдоль тангенса от точки начала кривой (или конца кривой)

в направлении вершины угла поворота длину хорды  $S$  и, удерживая в полученной точке нулевой штрих рулетки, перемещают конец мерной ленты на длину крайнего перемещения  $a$ , где после натяжения ленты и рулетки на полученном пересечении отрезков закрепляют первую точку кривой (т. 1). Далее в створе отрезка НК – т.1 откладывают длину хорды  $S'$  и вновь производят линейную засечку, удерживая один конец хорды в т.1 и перемещая ее другой конец на промежуточное перемещение  $b$ , откладываемое рулеткой в сторону кривой. Так получают точку 2 на кривой. Для получения следующих точек 3,4,5 и т.д. продолжают действовать таким же образом. Так разбивают первую половину кривой от НК до СК. Затем действуют аналогично от КК до СК.

### Перенос пикетов с касательной на кривую

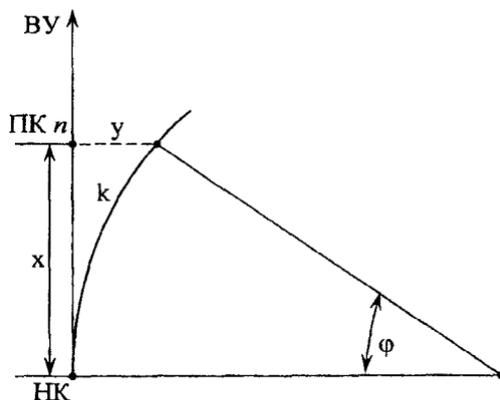


Рис. 6.6. Перенос пикетов способом прямоугольных координат

Перенос выполняют способом прямоугольных координат. Для этого:

- вычисляют величину дуги  $k$ , которая численно равна расстоянию от начала кривой НК до определяемого на касательной пикета  $n$ :

$$k = \text{ПК } n - \text{ПК НК}, \quad (6.7)$$

- центральный угол  $\varphi$ , соответствующий дуге  $k$ , вычисляют по формуле:

$$\varphi = \frac{k}{R} \cdot \rho, \quad (6.8)$$

- по формулам детальной разбивки кривой вычисляют  $x$ , величину которого откладывают от НК к ВУП и  $y$  – откладывают перпендикулярно оси  $x$ :

$$\begin{aligned} x &= R \cdot \sin \varphi, \\ y &= R - R \cdot \cos \varphi = 2R \cdot \sin^2 \varphi / 2. \end{aligned} \quad (6.9)$$

Перенос можно выполнять при помощи таблиц разбивки круговых и переходных кривых.

Таблица 1

К	Координаты	
	k-x	y
.....	.....	.....
63	0,05	1,98
64	0,05	2,05
65	0,05	2,11
....	.....	.....
163	0,72	13,25
164	0,74	13,42
165	0,75	13,50

По принятому радиусу кривой  $R$  и длине  $k$  – от НК (или КК) до выносимого пикета выбирают из таблиц значения  $(k-x)$  и  $y$  для пикетов  $n$  и  $n+1$  (табл. 1)

$$k - x = 0,05;$$

$$k - x = 0,74;$$

и соответственно выбирают величину  $y$ . Значение  $(k-x)$  откладывают рулеткой от пикета, временно закрепленного на касательной в сторону, противоположную ВУ, т.е. к НК или КК, а  $y$  – откладывают от найденной точки по перпендикуляру к тангенсу.

### *Нивелирование трассы*

Для составления продольного и поперечного профилей трассы и определения отметок постоянных и временных реперов, устанавливаемых вдоль трассы, производят техническое нивелирование. Нивелируют, как правило, двумя нивелирами. Первым нивелируют все пикеты и плюсовые точки, геологические выработки и реперы. Вторым нивелируют для контроля реперы, связующие пикеты и поперечники. Километровые пикеты и реперы нивелируют как связующие точки обоими нивелирами. Невязка в превышениях не должна превышать  $30 \sqrt{L}$ , расхождение в сумме превышений, полученных по результатам нивелирования первым и вторым нивелиром:

$$f_h = 30 \sqrt{2} \sqrt{L} = 42 \sqrt{L}. \quad (6.10)$$

При нивелировании трассы следует различать следующие точки:

- а) связующие – общие для двух смежных станций точки. Превышение между ними определяют дважды – по черным и по красным сторонам рейки, а полученные дважды превышения не должны отличаться более чем на 5 мм;
- б) промежуточные – точки, на которых берут только отсчет по черной стороне рейке, а их высоты вычисляют через горизонт прибора;
- в) иксовые (переходные) точки – это связующие точки, которые используются при больших перепадах высот, но на профиль их не наносят.

### *Привязка трассы к пунктам геодезической основы*

Плановая основа трассы (теодолитный ход) и нивелирные ходы должны привязываться к пунктам государственной геодезической сети. Частота привязки трассы к пунктам ГГС зависит от удаления пунктов ГГС от трассы. При расстоянии до трассы не более 3-х км – привязку выполняют не реже, чем через 25 км. Если пункты ГГС находятся на расстоянии от 3 до 10 км, то привязка осуществляется через 50 км. В условиях сильно разреженной плановой основы, для уменьшения поперечного сдвига трассы, рекомендуется через каждые 15-20 км определять приближенные истинные азимуты по Солнцу или звездам.

### *Съемочные работы*

Вдоль трассы дороги располагается большое число разного рода сооружений – заправочные станции, развязки, станции техобслуживания, мосты, путепроводы на пересечениях с другими дорогами, водоотводящие сооружения и др.

Для проектирования этих объектов необходимо иметь крупномасштабные планы соответствующих участков местности. Для этого производят тахеометрическую съемку с опорой на точки трассы в масштабах от 1:5000 – 1:500. Для небольших площадей, вытянутых вдоль трассы, топографическую съемку производят путем разбивки вдоль трассы поперечников на пикетах и плюсовых точках.

Если съемке подлежит большая площадь (например, площадь водосбора), то предварительно создают плано-высотное обоснование. Далее выполняют тахеометрическую съемку, в равнинных районах – съемку по квадратам.

### *Камеральные работы*

Камеральная обработка результатов полевого трассирования должна обеспечить получение исходных материалов для проектирования и оценки качества.

В состав камеральных работ входит:

1. Проверка полевых журналов, составление схем ходов с обозначением на них опорных пунктов;
2. Уравнивание теодолитных и нивелирных ходов, получение координат углов поворота трассы, отметок реперов, пикетов и плюсовых точек;
3. Составление топографических планов на участке съемки;
4. Составление продольного и поперечного профилей трассы, на которых затем проектируют земляное полотно, водоотводы и др. элементы дороги.

### *Вычислительная обработка журнала технического нивелирования трассы*

1. Проверка полевых журналов.

Отсчеты должны быть записаны в виде четырехзначных цифр и соответствовать наименованию точки. Разность отсчетов по черной и красной сторонам

рейки не должна отличаться от стандартной разности пяток рейки (4683, 4783, 4800, 4700) более чем на 4 мм.

2. Вычисление превышений между связующими точками:

$$\begin{aligned}h_{ч} &= З_{ч} - П_{ч}; \\h_{к} &= З_{к} - П_{к};\end{aligned}\quad (6.11)$$

Контроль:  $h_{ч} - h_{к} = \pm 5$  мм.

Если контроль выполняется, то вычисляют  $h_{ср} = (h_{ч} + h_{к}) / 2$  с округлением до целых мм.

3. Выполнение постраничного контроля

$$\frac{\sum З - \sum П}{2} = \frac{\sum h_{в}}{2} = \sum h_{ср}, \quad (6.12)$$

где  $\sum З$  и  $\sum П$  - суммы задних и средних отсчетов по рейке.

4. Уравнивание превышений

а) определяют невязку  $f_h = \sum h_{ср} - (H_K - H_N),$  (6.13)

б) оценивают невязку  $f_h \leq f_{h \text{ доп}},$  (6.14)

$$f_{h \text{ доп}} = 30 \sqrt{L_{км}}, \quad (6.15)$$

$L_{км}$  - длина хода в километрах, или  $f_{h \text{ доп}} = 10 \sqrt{n}$ , если количество станций  $n > 25$  на 1 км нивелирного хода;

в) распределяют невязку

$$\delta_{h i} = - \frac{f_h}{n}, \quad (6.16)$$

$n$  - количество станций;

г) выполняют контроль:

$$\sum \delta_{h i} = - f_h, \quad (6.17)$$

$$\sum h_{испр} = H_K - H_N. \quad (6.18)$$

5. Вычисление высот связующих точек трассы выполняют по формуле

$$H_{i+1} = H_i + h_{испр i}. \quad (6.19)$$

6. Вычисление отметок промежуточных точек.

Для станций, где имеются промежуточные точки, определяют вначале горизонт прибора, например, для промежуточной точки ПК 1+40, которая находится между связующими точками ПК 1 и ПК 2

$$\begin{aligned} \text{ГП} &= \text{Н}_{\text{ПК 1}} + \text{З}_ч, \\ \text{ГП} &= \text{Н}_{\text{ПК 2}} + \text{П}_ч, \end{aligned} \quad (6.20)$$

$\text{З}_ч$ ,  $\text{П}_ч$  – отсчеты по черной стороне рейки на заднюю и переднюю связующие точки, а отметку этой точки определяет по формуле

$$\text{Н}_{\text{ПК 1+40}} = \text{ГП} - \text{а}_ч, \quad (6.21)$$

где  $\text{а}_ч$  – отсчет по рейке на точку ПК 1+40.

## 7. ПОСТРОЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ТРАССЫ

По материалам полевого трассирования составляют продольный и поперечный профили трассы на миллиметровой бумаге. Горизонтальный масштаб для продольного профиля 1:5000, а вертикальный в 10 раз крупнее.

Порядок построения профиля следующий:

1. Производят разграфку профильной сетки согласно рис. 11.
2. В графе пикеты и расстояния наносят пикеты, плюсовые точки и расстояния между ними.

3. Над пикетами и плюсовыми точками в графе «фактические отметки» подписывают отметки земли, предварительно округлив их до см.

4. От верхней линии профильной сетки (линии условного горизонта) на перпендикулярах к ней в принятом вертикальном масштабе откладывают фактические отметки точек.

Для того чтобы не откладывать на перпендикулярах большие расстояния, линии условного горизонта присваивают отметку с таким расчетом, чтобы точка профиля, имеющая минимальную высоту, отстояла от этой линии на 6-8 см.

Точки, полученные в результате построения, соединяют между собой прямыми линиями и получают, таким образом, продольный профиль трассы.



5. По данным пикетажного журнала заполняют графу «план трассы».

Для заполнения графы «план трассы» по середине ее проводят линию и, пользуясь пикетажным журналом, наносят контуры местности.

6. Поперечные профили составляют по тем же правилам, что и продольный профиль. Наименование граф см. рис. 7.2.

7. Пользуясь пикетажным значением начала и конца кривой, приведенных в пикетажном журнале, заполняют графу «прямые и кривые».

Горизонтальные кривые условно показывают в графе дугами, обращенными выпуклостью вверх при повороте трассы вправо и вниз – при повороте влево. На каждой кривой подписывают ее основные элементы и расстояния до ближайших пикетов. На прямых участках указывают их длину и румб.

#### *Составление поперечного профиля*

Поперечные профили строят по тем же правилам, что и продольный профиль. Горизонтальный и вертикальный масштаб поперечника одинаковый. Профильная сетка для поперечного профиля приведена на рис. 7.2.

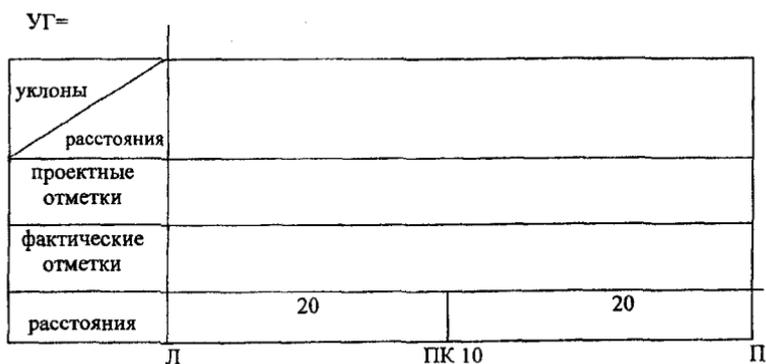


Рис. 7.2. Продольная сетка для поперечного профиля

На поперечный профиль наносят проектируемые очертания земельного полотна, соответствующие проектируемой категории дороги.

## 8. РАСЧЕТЫ, СВЯЗАННЫЕ С НАНЕСЕНИЕМ НА ПРОФИЛЬ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ

Нанесение проектной (красной) линии выполняется в соответствии с техническими указаниями.

Последними обычно предусматривается соблюдение предельно допустимых для данной категории АД уклонов, соблюдение технических, экономических и природных условий.

Проектная линия, как правило, состоит из нескольких участков с различными уклонами (рис. 7.1).

Начальный или конечный проектной отметкой трассы могут являться отметки фиксированных точек, например точки примыкания трассы к существующим или проектируемым сооружениям (например, отметка проектируемого мостового перехода).

Уклоны подсчитываются по формуле:

$$i = \frac{H_K - H_N}{d}, \quad (8.1)$$

Если начальная ( $H_N$ ) и конечная ( $H_K$ ) отметки проектной линии неизвестны, то они определяются графически.

$d$  – длина (горизонтальное проложение) проектной линии, для которой определяется уклон.

Уклоны должны быть выражены в целых тысячных долях (в промилях).

В зависимости от знака уклона в графе «проектные уклоны» показывают направление проектной линии вверх или вниз. Уклоны подписывают в промилях.

Проектные отметки точек трассы вычисляются по формуле:

$$H = H_N + i \cdot l, \quad (8.2)$$

где  $H_N$  – высота начальной (фиксированной) точки проектной линии,

$i$  – уклон линии,

$l$  – расстояние до точки, высоту которой необходимо определить.

Проектные отметки вычисляют до сантиметра и выписывают в соответствующую графу профиля.

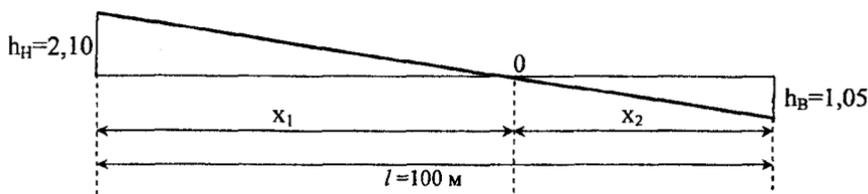
Затем подсчитывают рабочие отметки как разность проектной и фактической отметки

$$h_{\text{раб}} = H_{\text{пр}} - H_{\text{ф}}. \quad (8.3)$$

Положительные отметки подписывают на профиле над проектной линией. Они соответствуют высоте насыпи. Отрицательные отметки – глубина выемки. Их указывают под проектной линией.

Точки пересечения на профиле линии местности с проектной линией называется точками нулевых работ. Для их нахождения на местности определяют расстояния до ближайших пикетов, как это рассмотрено на следующем примере.

Пример: (см. рис. 7.1)



$$x_1 = \frac{h_H}{h_H + h_B} \cdot l = \frac{2,10}{2,10 + 1,05} \cdot 100 = 66,7 \text{ м},$$

$$x_2 = \frac{h_B}{h_H + h_B} \cdot l = 33,3 \text{ м}.$$

Контроль:  $l = x_1 + x_2$ .

Далее зная  $x_1$  и уклон проектной линии можно вычислить отметку точки нулевых работ.

## Литература:

1. Булгаков Н.П., Рывина Е.М., Федотов Г.А. Прикладная геодезия. – М.: Недра, 1990. – 415 с;
2. Визчин А.А., Хренов Л.С. Практикум по инженерной геодезии. М., Недра, 1989;
3. Закатов П.С. Инженерная геодезия. М., Недра, 1976;
4. Левчук Г.П., Новак И.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. М., Недра, 1981;
5. Лукьянов В.Ф., Новак В.Е., Буш В.В. и др. лабораторный практикум по инженерной геодезии. М., Недра, 1990. – 334 с;
6. Михеев Д.Ш. Инженерная геодезия. Учебник для ВУЗов. М., «Высшая школа», 2000. – 464 с;
7. Райфельд В.Ф. Инженерно – геодезические работы при изысканиях линейных сооружений. – М.: Недра, 1983. – 143 с;
8. Хейфец Б.С., Данилевич Б.Б. Практикум по инженерной геодезии. М., Недра, 1975;
9. Строительные нормы Республики Беларусь. Инженерные изыскания для строительства. СНБ 1.02.01 – 96. Мн.: 1996;
10. Инженерные изыскания для объектов дорожного строительства. П2-03 к СНБ 1.02.01-96. МН.: 2003. – 130 с.

## Содержание

1. СТАДИИ И СОДЕРЖАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТРАСС .....	3
2. ТРАССА ЛИНЕЙНОГО СООРУЖЕНИЯ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ .....	4
3. ЭЛЕМЕНТЫ КРУГОВОЙ КРИВОЙ .....	5
4. ПЕРЕХОДНЫЕ КРИВЫЕ.....	7
5. КАМЕРАЛЬНОЕ ТРАССИРОВАНИЕ.....	10
6. ПОЛЕВОЕ ТРАССИРОВАНИЕ.....	12
7. ПОСТРОЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЕЙ ТРАССЫ.....	25
8. РАСЧЕТЫ, СВЯЗАННЫЕ С НАНЕСЕНИЕМ НА ПРОФИЛЬ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ.....	27
Литература.....	30

Учебное издание

МАРХВИДА Владимир Георгиевич  
ГЛИНСКАЯ Валентина Аркадьевна

ЭЛЕМЕНТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ  
ИЗЫСКАНИЙ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 1–70 03 01 «Автомобильные дороги»  
специализации 1–70 03 01 01 «Строительство дорог и аэродромов»

Технический редактор М.И. Гриневич.

---

Подписано в печать 01.03.2005.  
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,45. Тираж 200. Заказ 82.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.  
ЛИ № 02330/0056957 от 01.04.2004.  
220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.