

## Глава 3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНГП

### 3.1. Элементы инженерно-геодезического проектирования оси МНГП

Трассу магистрального нефтегазопровода определяют при камеральном трассировании, которое проводится в несколько этапов по картам разных масштабов согласно заданным условиям проектирования.

Проектирование оси магистральных трубопроводов (газопроводов, нефтепроводов, нефтепродуктопроводов) осуществляется согласно нормативным документам – СНиП 2.05.06-85\* и СНиП III-42-80\*. Проектирование проводится на основе материалов изысканий – планов и профилей и определяется рядом требований, из которых основными являются следующие (СНиП 2.05.06-85\* и СНиП III-42-80\*).

Магистральные трубопроводы укладывают в грунт на глубину не менее 0,8 – 1,0 м до верха трубы (в нормальных условиях) (табл. 3.1).

Таблица 3.1

*Заглубление трубопроводов до верха трубы [25]*

Условия прокладки	Заглубление трубопровода в до верха трубы надлежит принимать, м, не менее
При условном диаметре менее 1000 мм	0,8
При условном диаметре 1000 мм и более (до 1400 мм)	1,0
На болотах или торфяных грунтах, подлежащих осушению	1,1
В песчаных барханах, считая от нижних отметок межбарханных оснований	1,0
В скальных грунтах, болотистой местности при отсутствии проезда автотранспорта и сельскохозяйственных машин	0,6
На пахотных и орошаемых землях	1,0
При пересечении оросительных и осушительных (мелиоративных) каналов	1,1 (от дна канала)

В районах вечной мерзлоты, в болотистых и горных местах, на оползнях проектируют надземные магистральные трубопроводы на опорах (рис. 3.1). Прокладка трубопроводов по поверхности земли в насыпи (надземная прокладка) или на опорах (надземная прокладка) допускается только как

исключение при соответствующем обосновании в случаях, приведенных в п. 7.1. СНиП 2.05.06-85\*. В каждом конкретном случае надземная прокладка трубопроводов должна быть обоснована технико-экономическими расчетами, подтверждающими экономическую эффективность, техническую целесообразность и надежность трубопровода.

При этом должны предусматриваться специальные мероприятия, обеспечивающие надежную и безопасную эксплуатацию трубопроводов (рис. 3.2).

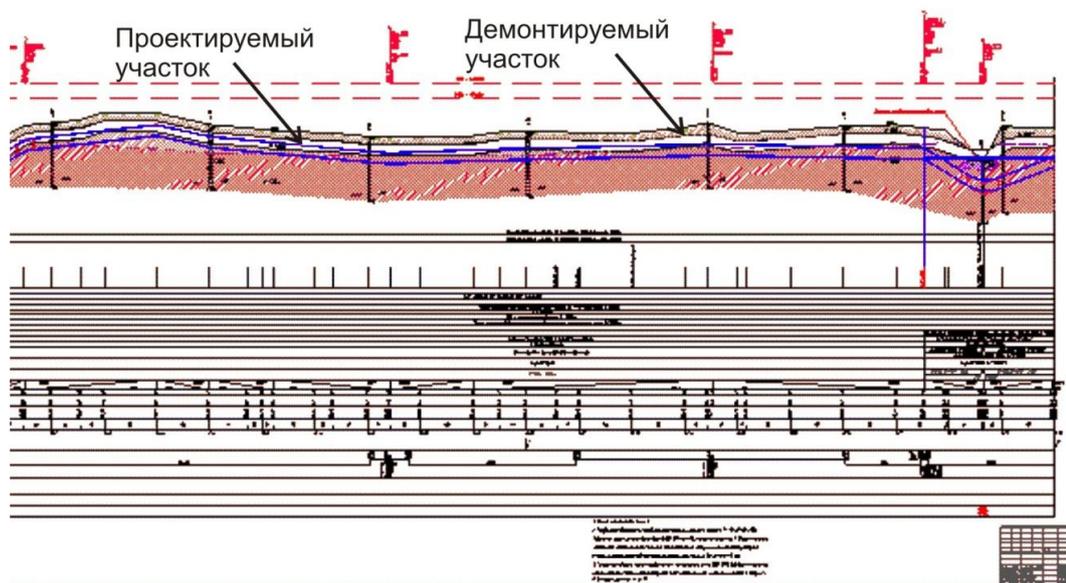


*Рис. 3.1. Надземная прокладка нефтепровода*



*Рис. 3.2. Укрепление склонов*

Уклоны трубопровода проектируют преимущественно параллельно рельефу местности (рис. 3.3).



*Рис. 3.3. Профиль трассы нефтепровода*

Выбор трассы трубопроводов между начальным и конечным пунктами производится по критериям оптимальности в пределах области поиска, определяемой эллипсом, в фокусах которого находятся начальный и конечный пункты трассы (рис. 3.4). В качестве критериев оптимальности

принимают приведенные затраты при сооружении, техническом обслуживании и ремонте трубопровода и при эксплуатации, включая затраты на мероприятия по обеспечению сохранности окружающей среды, а также металлоемкость, конструктивные схемы прокладок, безопасность, заданное время строительства, наличие дорог и др. [25].

Кратчайшим расстоянием между точками А и В будет «воздушная» прямая АВ, соединяющая эти точки. Оптимальным вариантом расположения трассы была бы линия, соответствующая этой воздушной прямой. Однако на пути трубопровода между точками А и В встречаются различные препятствия, которые необходимо или целесообразно обойти. В связи с этим фактическая длина трассы  $L_{\phi}$  будет больше воздушной прямой  $l$ . Длина трассы  $L_{\phi}$  увеличивается с увеличением числа препятствий.

Длину  $L_{\phi}$  трассы находят из условий

$$L_{\phi} \leq K_p \cdot l, \quad (3.1)$$

где  $l$  – расстояние между начальной и конечной точками по геодезической прямой, км;  $K_p$  – коэффициент развития линии трубопровода.

Область возможного расположения трубопровода будет ограничена эллипсом, фокусами которого будут точки А и В. Каждая точка эллипса будет удалена от начальной и конечной точек трассы на расстояния, сумма которых есть постоянная величина, равная  $L_{\phi} = a$  [25].

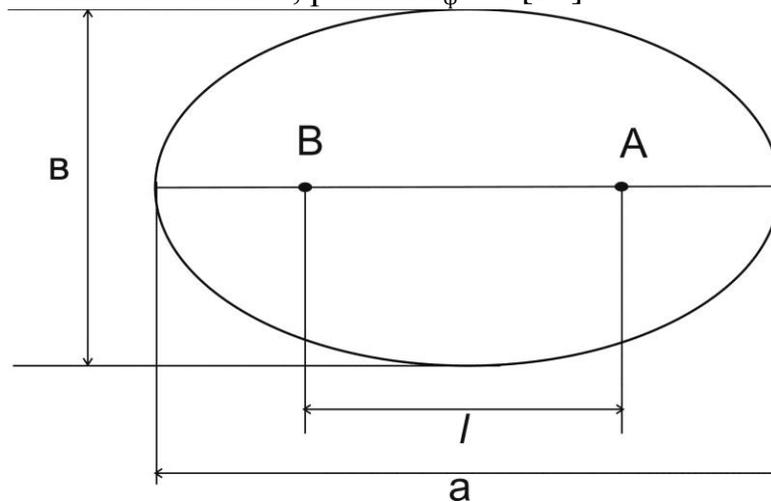


Рис. 3.4. Область поиска, определяемая эллипсом

Малую ось эллипса находят по формуле

$$b = l \sqrt{K_p^2 - 1}. \quad (3.2)$$

Коэффициент развития линии трубопровода  $K_p$  определяют из условия

$$K_p = \frac{W_{\text{ср.о}}}{W_{\text{ср.н}}}, \quad (3.3)$$

где  $W_{\text{ср.о}}$  – приведенные затраты на 1 км трубопровода по геодезической прямой между начальной и конечной точками с учетом переходов через препятствия;  $W_{\text{ср.н}}$  – приведенные затраты на 1 км трубопровода по

геодезической прямой между начальной и конечной точками без затрат на переходы через естественные и искусственные препятствия [25].

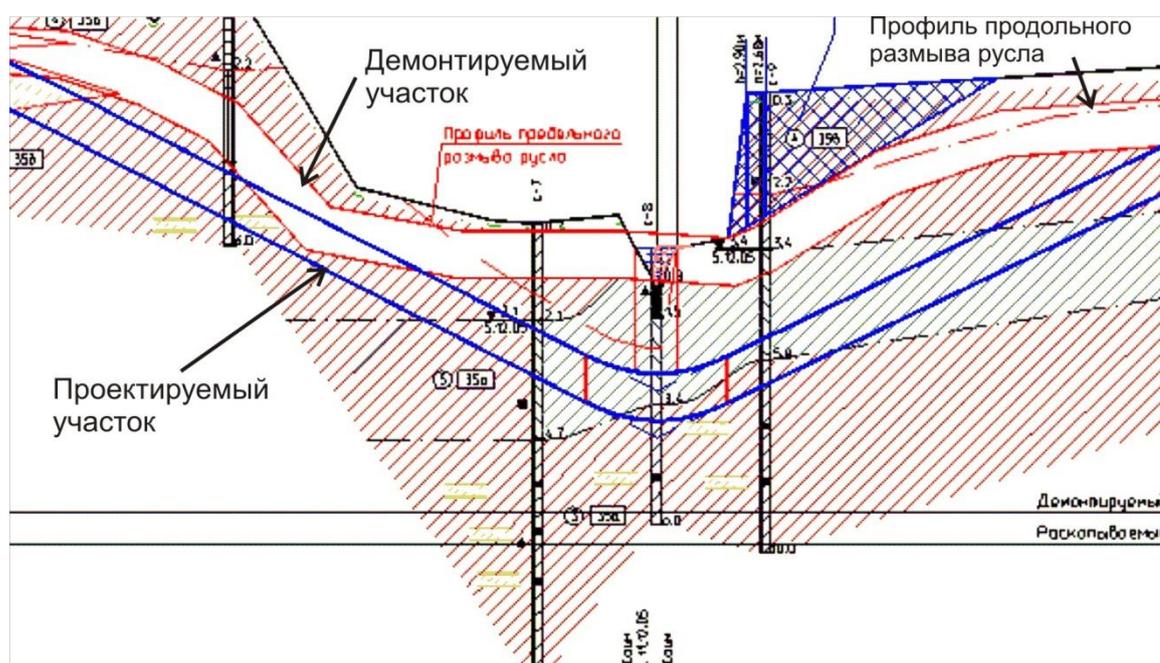
Расстояния от оси подземных и наземных (в насыпи) трубопроводов до населенных пунктов, отдельных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений принимают в зависимости от класса и диаметра трубопроводов, степени ответственности объектов и необходимости обеспечения их безопасности, но не менее значений, указанных в табл. 4 СНиП 2.05.06-85\* [25]. Например, минимальное расстояние от оси газопровода (1 категория, условный диаметр 300 мм и менее) до дорог I-III категории, параллельно которым прокладывают газопровод, допускается не менее 100 метров.

В местах пересечений магистральных трубопроводов с линиями электропередачи напряжением 110 кВ и выше предусматривают только подземную прокладку трубопроводов под углом не менее 60°. При этом трубопроводы, прокладываемые в районах Западной Сибири и Крайнего Севера на расстоянии 1000 м в обе стороны от пересечения, принимают II категории [25].

Минимальное расстояние от ближайшего магистрального газопровода первого класса диаметром 1000 мм и более и от границ технических коридоров трубопроводов до границ проектной застройки городов и других населенных пунктов в районах Западной Сибири и Крайнего Севера принимают не менее 700 м. и т.д. [25].

Угол пересечения трубопровода с железными и автомобильными дорогами должен быть, как правило, 90° (но не менее 60°).

Прокладку подводных переходов предусматривают с заглублением в дно пересекаемых водных преград. Величина заглубления устанавливается с учетом возможных деформаций русла и перспективных дноуглубительных работ (рис. 3.5) [25].



*Рис. 3.5. Профиль трассы магистрального газопровода через реку*

Проектная отметка верха забалластированного трубопровода при проектировании подводных переходов назначается на 0,5 м ниже прогнозируемого предельного профиля размыва русла реки, определяемого на основании инженерных изысканий, с учетом возможных деформаций русла в течение 25 лет после окончания строительства перехода, но не менее 1 м от естественных отметок дна водоема [25].

Профиль трассы трубопровода принимают с учетом допустимого радиуса изгиба трубопровода, рельефа русла реки и расчетной деформации (предельного профиля размыва), геологического строения дна и берегов, необходимой пригрузки и способа укладки подводного трубопровода [25].

Повороты линейной части трубопровода в вертикальной и горизонтальной плоскостях выполняют упругим изгибом сваренной нитки трубопровода [26].

Если на отдельных участках трассы в соответствии с проектом необходимо выполнить повороты малого радиуса, который не может быть получен при изгибе труб на станках холодного гнутья, кривые поворота выполняют из крутоизогнутых отводов горячего гнутья и штамповарных отводов [26] (рис. 3.6).



*Рис. 3.6. Гнутые отводы*

Допустимые радиусы изгиба трубопровода в горизонтальной и вертикальной плоскостях определяют расчетом из условия прочности, местной устойчивости стенок труб и устойчивости положения. Минимальный радиус изгиба трубопровода из условия прохождения очистных устройств должен составлять не менее пяти его диаметров [25].

Радиусы упругого изгиба трубопровода устанавливаются проектом, при этом минимальные допустимые радиусы изгиба принимаются в соответствии с табл. 3.2 [26].

*Минимальные допустимые радиусы упругого изгиба*

Диаметр трубопроводов, мм	Минимально допустимые радиусы упругого изгиба трубопровода	Диаметр трубопроводов, мм	Минимально допустимые радиусы упругого изгиба трубопровода
1400	1400	600	600
1200	1200	500	500
1000	1000	400	400
800	800	300	300
700	700	200	200

Упругий изгиб сваренного в нитку трубопровода выполняют непосредственно при его укладке в траншею, отрытую по проекту [26]. Гнутые отводы изготавливают в базовых, заводских условиях и непосредственно у места укладки в траншею из отдельных труб или двухтрубных секций [26]. Холодному гнутью подлежат только прямошовные и бесшовные трубы. Унифицированные радиусы гнутых отводов устанавливаются в соответствии с табл. 3.3 [26].

Таблица 3.3

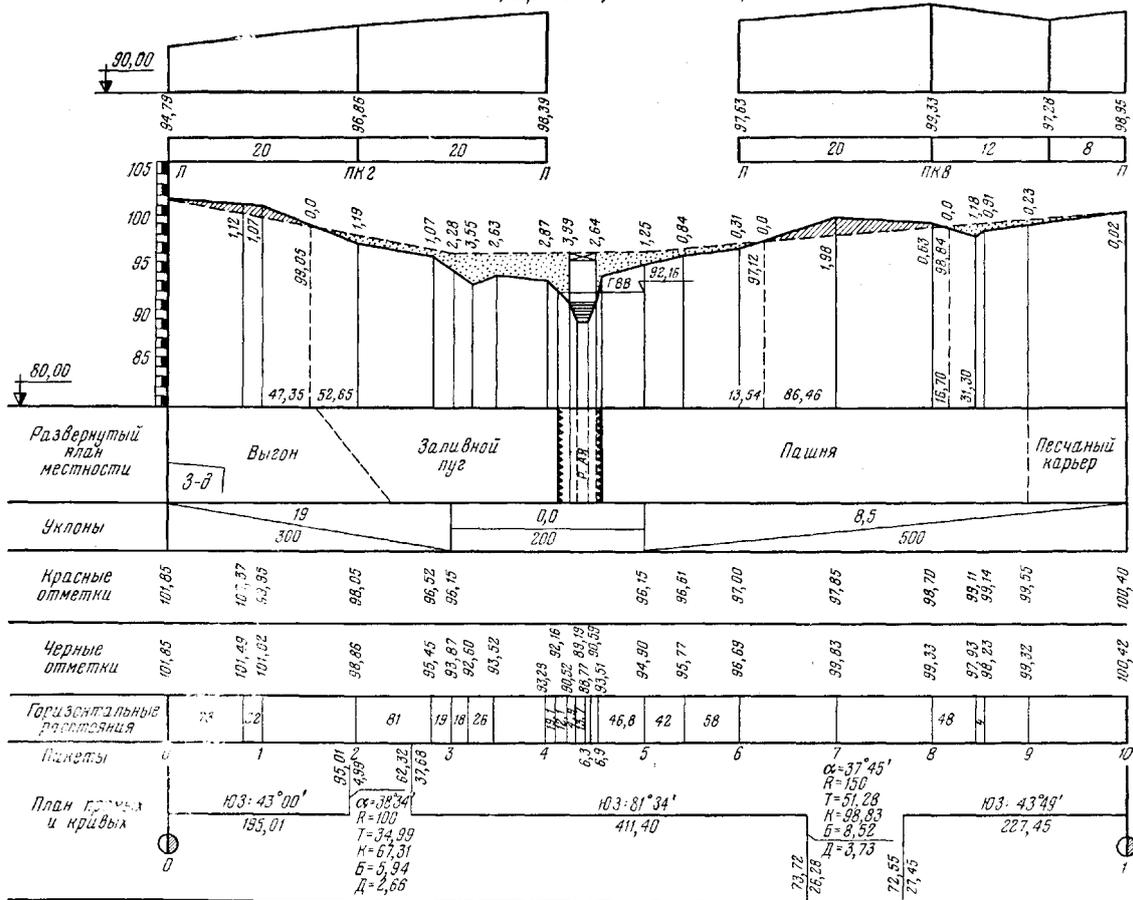
*Радиусы гнутых отводов*

Диаметр труб, мм	Толщина стенки трубы, мм	Унифицированные радиусы отводов при гнутье труб в холодном состоянии, м
1420	16-20	60
1220	12-15	60
1020	10-14	40
720-820	8-12	35
529	7-10	25
426	6-12	20
219-377	4-25	15

Примечания: 1. Указанные радиусы относятся только к изогнутой части отвода. 2. Допускается отклонение величины радиуса на  $\pm 5\%$

Для проектирования трассы нефтегазопровода по результатам нивелирования вычерчивают профиль местности. Для примера на рис. 3.7 приведен профиль трассы автодороги. Для дорог проектирование оси сооружения определяется рядом условий, из которых основным является соблюдение установленных предельных для уклонов и баланса земляных работ, т. е. равенства объемов насыпей и выемок.

Профиль трассы автодороги



Масштабы: горизонтальный 1:2000  
 вертикальный 1:200  
 для поперечников 1:200

Профиль составил

Рис. 3.7. Профиль трассы автодороги [1]

### 3.2. Расчёт и разбивка главных точек горизонтальных кривых на трассе

На рис. 3.8 представлена схема, поясняющая расчет элементов круговой кривой и построение главных точек кривой на трассе.

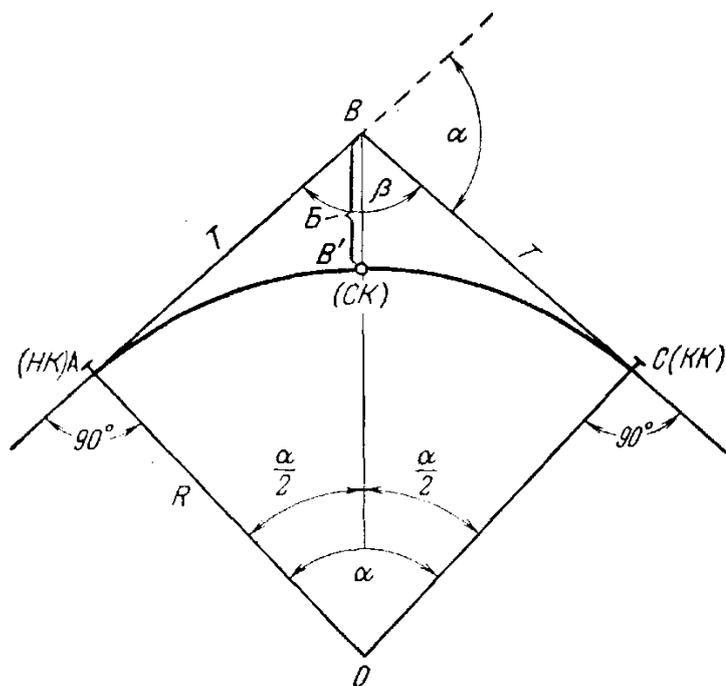


Рис. 3.8. Круговая кривая [1]

В местах поворота трассы разбивают кривые, из которых наиболее простой является дуга окружности – *круговая кривая* (см. п. 1.3.1). Точка В – *вершина угла поворота трассы*; угол  $\alpha$  – *угол поворота трассы*, точка О – *центр окружности с радиусом R* (прямые ОА, ОВ' и ОС). Угол АОС при центре кривой, равный углу поворота  $\alpha$ , называется *центральный*.

Точка А – *начало кривой трассы (НК)*, точка С – *конец кривой (КК)* и точка В' – *середина кривой (СК)*. Точки начала, конца и середины кривой трассы называют *главными точками кривой* [7].

Прямые АВ и ВС называются *тангенсами кривой* и обозначаются буквой Т. Тангенс кривой – отрезок прямой, соединяющий вершину угла поворота трассы с началом или концом кривой [7]. Отрезки АВ и ВС (рис. 3.8) составляют между собой угол  $\beta$ . Расстояние Б – отрезок ВВ' – называется *биссектрисой кривой*. Биссектриса кривой – отрезок прямой, соединяющий вершину угла поворота трассы с серединой кривой [7]. Длина кривой АВ'С обозначается буквой К. Разность Д между длиной двух тангенсов и длиной кривой называется *домером*:

$$Д = 2Т - К. \quad (3.4)$$

Согласно углу поворота трассы  $\alpha$  и радиусу круговой кривой, заданному в технических условиях, вычисляют Т, К, Б и Д – *главные элементы круговой кривой* по формулам:

$$AB = T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (3.5)$$

$$AC = K = \frac{\alpha^\circ}{180^\circ} \pi R, \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} BB' = Б = BO - B'O &= \frac{R}{\cos \frac{\alpha}{2}} - B'O = \frac{R}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R = \\ &= R \left( \sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) = R \frac{2 \sin \frac{\alpha}{4}}{\cos \frac{\alpha}{2}}. \end{aligned} \quad (3.7)$$

### Пример 3.1 [19].

Рассчитайте главные элементы круговой кривой.

Исходные данные:  $R = 500$  м;  $\varphi = 30^\circ$ ; УП = ПК5 + 40.

Решение.

$$T = 500 \cdot \tan 15^\circ = 133,97 \text{ м};$$

$$B = 500 \cdot (\sec 15^\circ - 1) = 17,64 \text{ м};$$

$$K = (500 \cdot 3,1416 \cdot 30^\circ) : 180^\circ = 261,80 \text{ м};$$

$$D = 2 \cdot 133,97 - 261,80 = 6,14 \text{ м};$$

$$НК = ПК5 + 40 - 133,97 = 540,00 - 133,97 = 406,03 \text{ м} = ПК4 + 6,03;$$

$$КК = ПК5 + 40 + 133,97 = 540,00 + 133,97 = 673,97 \text{ м} = ПК6 + 73,97 \text{ м}.$$

Контроль:  $НК + K = КК - Д$ :  $(406,03 + 261,80 = 667,83 = 673,97 - 6,14 = 667,83 \text{ м})$ .

Разбивку главных элементов кривых в поле, а также *детальную разбивку кривой*<sup>1</sup> производят от вершин углов поворота.

От угла поворота в направлении младшего и старшего пикетов (по тангенсам) откладывают значения начала и конца кривой. В вершине угла поворота теодолитом откладывают угол  $\frac{\beta}{2} = \frac{180^\circ - \alpha}{2}$  и в полученном направлении откладывают значение биссектрисы кривой. Получают точку середины кривой (СК). Далее старший пикет переносят вперед на величину домера [19].

В результате нивелирования трассы составляют профиль, горизонтальный масштаб которого указан в техническом задании (от 1:200 до 1:5000). Отметки на профиле наносят обычно в масштабе в десять раз крупнее (1:20–1:500).

Для составления профиля используется стандартная сетка профиля, то есть принятая разграфка для записи необходимых данных (рис. 3.9).

---

<sup>1</sup> *Детальная разбивка кривой* – вынос точек кривой на местность через заданные интервалы.

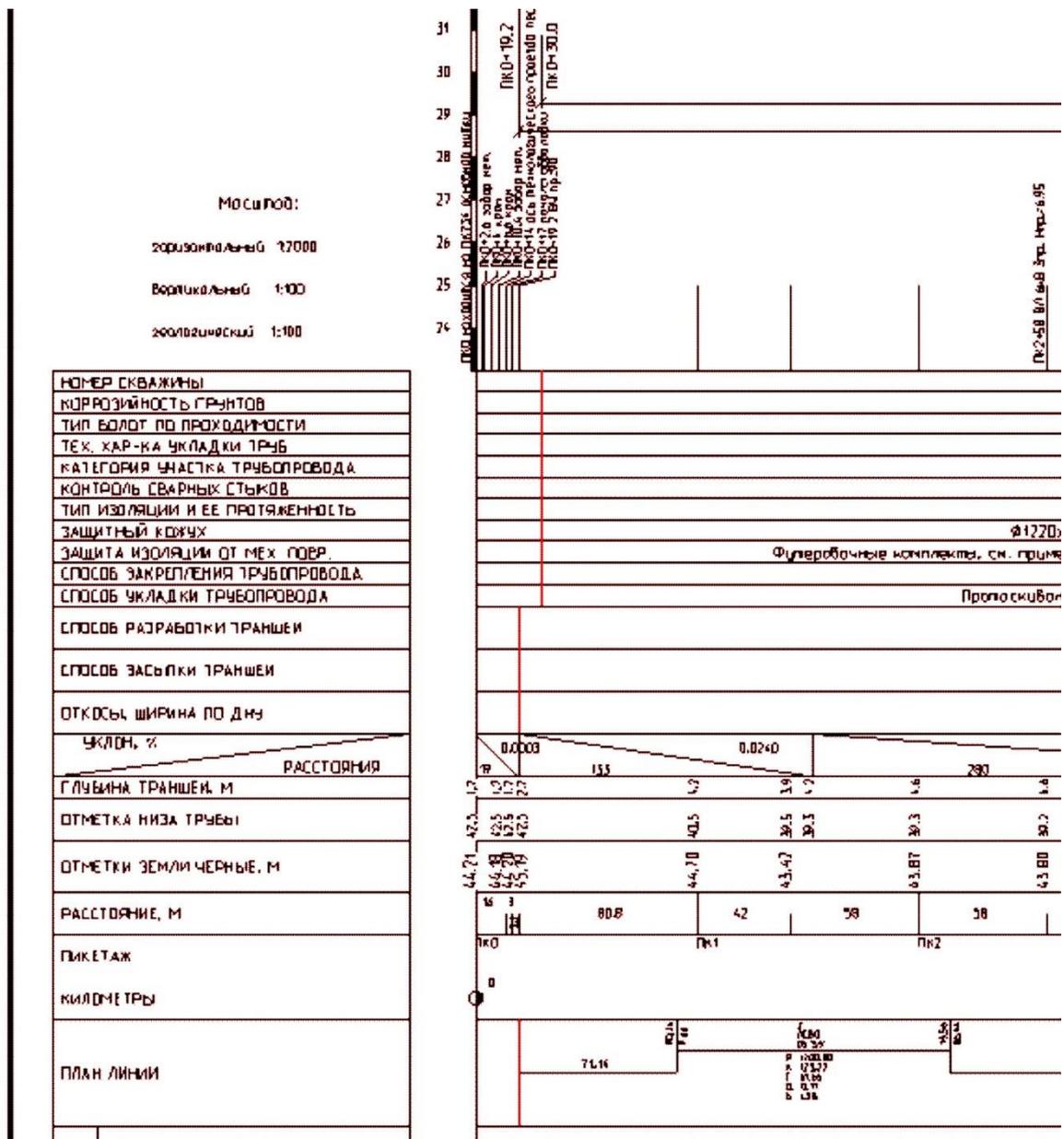


Рис. 3.9. Стандартная сетка профиля нефтегазопровода

В частности, на чертеже прочерчивают горизонтальную графу, называемую «расстояние, м», на которой откладывают отрезки – пикеты и расстояния до всех плюсовых точек. Концы всех отрезков обозначаются вертикалями. Ниже располагают графу, в которой вычерчивают план прямых и кривых. Выше графы «горизонтальные расстояния» строят остальную сетку профиля.

На плане повороты трассы вправо и влево обозначают по разному: вправо – выпуклостью вниз, влево – выпуклостью вверх (рис. 3.10).

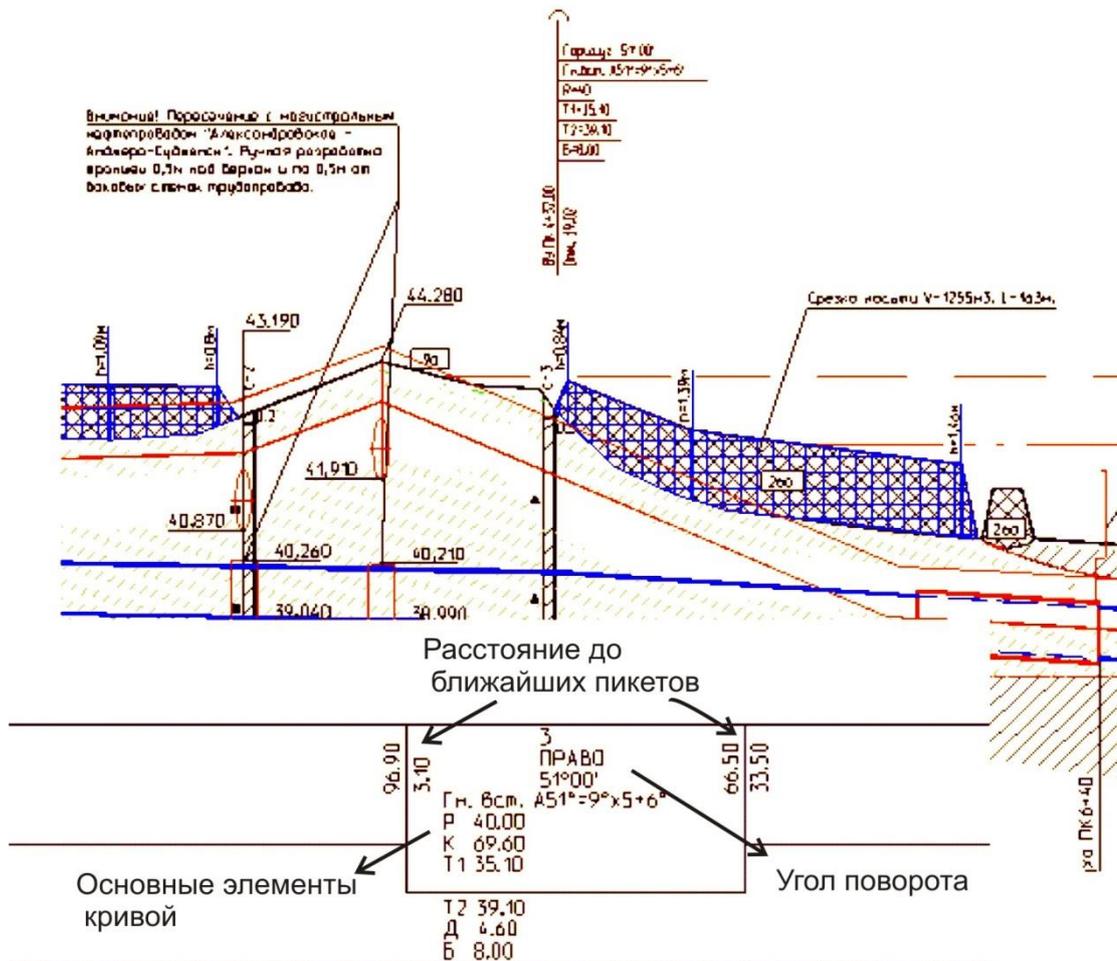


Рис. 3.10. Обозначение угла поворота на сетке профиля нефтепровода

Начало и конец каждого закругления отмечают перпендикуляром, проводимым от линии пикетажа до средней линии, изображающей ось трубопровода. Расстояния от точек начала и конца кривой до ближайших пикетов подписывают вдоль перпендикуляров.

Около каждой кривой подписывают основные элементы кривой и угол поворота. Подписывают длины прямых вставок и их направления.

### 3.3. Расчёт вертикальных кривых

Переломы проектной линии профиля, которые могут быть выпуклыми и вогнутыми, «выравниваются» построением вертикальных кривых [2]. Вертикальная кривая трассы – часть оси трассы проектируемого сооружения, представляющая собой кривую, лежащую в вертикальной плоскости [7].

Для проектирования и разбивки вертикальных кривых могут быть использованы те же формулы, что и для кривых в плане. Но вследствие малости вертикальных углов перелома и больших значений радиусов кривых в практике применяют упрощенные формулы [2].

Угол  $\alpha$  (рис. 3.14), называемый *углом отклонения*, мал, поэтому его значение выражают алгебраической разностью уклонов смежных прямых проектной линии:

$$\alpha = i_1 - i_2 = \Delta i. \quad (3.8)$$

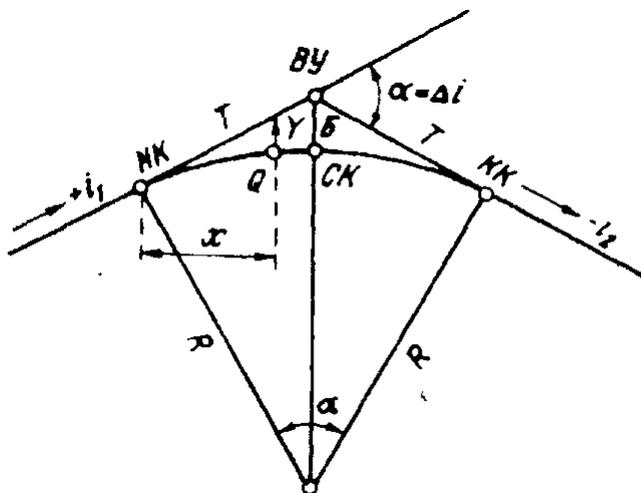


Рис. 3.11. Элементы вертикальной круговой кривой [2]

Элементы кривой Т, К и Б могут быть определены по следующим приближенным формулам

$$K = R(i_1 - i_2) = R \Delta i \quad (3.9)$$

$$T = \frac{K}{2} = \frac{R \Delta i}{2} \quad (3.10)$$

$$B = \frac{T^2}{2R} = \frac{K^2}{8R} \quad (3.11)$$

### 3.4. Геодезические расчёты при вертикальной планировке рельефа

#### 3.4.1. Проект вертикальной планировки рельефа

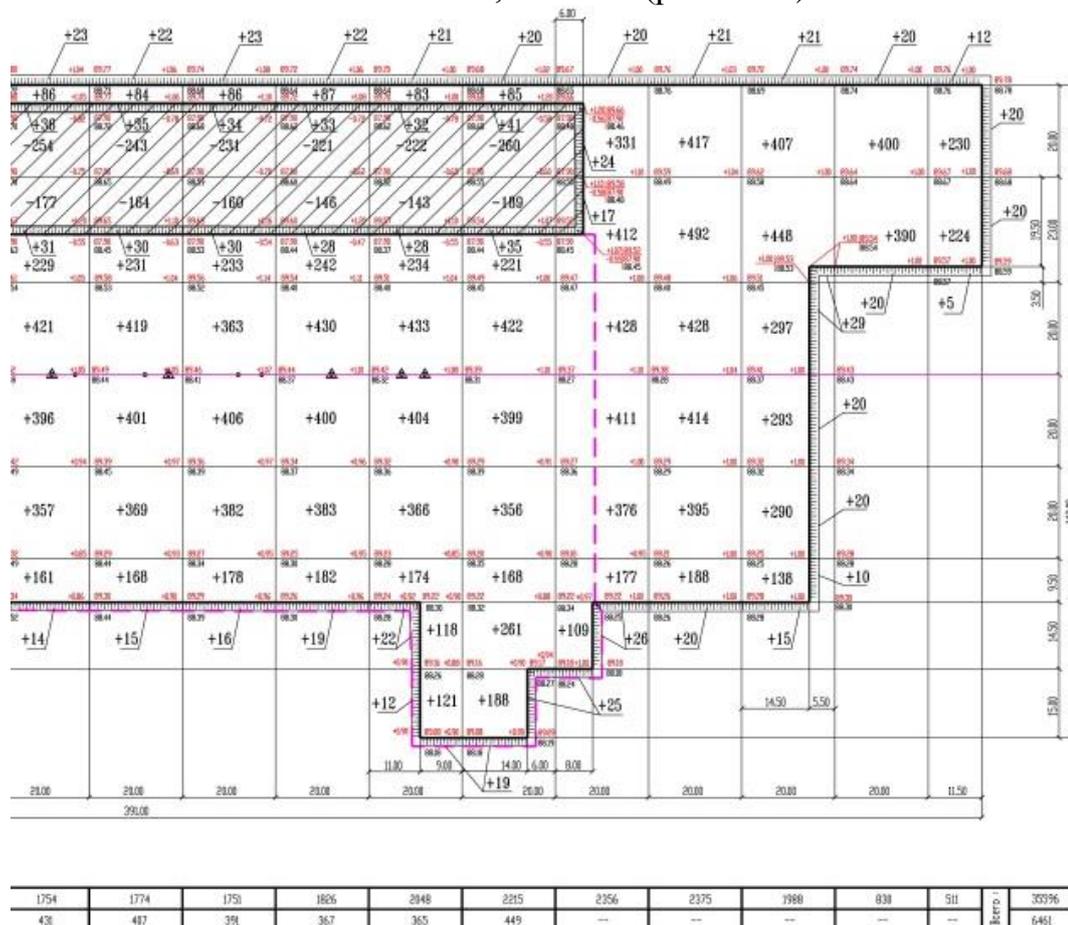
Одной из основных частей генерального плана является *проект вертикальной планировки*<sup>2</sup> застраиваемой территории. Вертикальная планировка – преобразование естественного рельефа на территории стройплощадки в поверхность, удовлетворяющую техническим требованиям данного сооружения. Основными документами проектов вертикальной планировки рельефа являются план организации рельефа и картограмма земляных работ (план земляных масс) [28]. Геодезические расчёты проводят на основе детальной топографической съёмки местности, которую выполняют геометрическим нивелированием.

На *плане организации рельефа* изображается проектная поверхность строительных площадок проектными отметками (рис. 3.12). Проектный

<sup>2</sup> Проект вертикальной планировки – технический документ, определяющий преобразование рельефа местности для инженерных целей [7].

рельеф может быть задан либо в виде профилей, либо проектными горизонталями [22], либо сеткой квадратов (прямоугольников) в сочетании с проектными отметками. В последнем случае проектная отметка подписывается в северо-восточном углу квадрата. Кроме проектных на *плане земляных масс* по определенной системе (рис. 3.13) подписывают и другие отметки – фактические и рабочие. *Проектная отметка* – это отметка, которую данная точка поверхности должна иметь после завершения планировки<sup>3</sup>. Отметки точек, полученные в результате нивелирования, называются *фактическими*<sup>4</sup>. Разность между проектной и фактической отметками называется *рабочей отметкой*. Рабочая отметка показывает сколько грунта надо подсыпать, если  $h_{\text{раб}}$  положительная, или снять (срезать), если  $h_{\text{раб}}$  отрицательная. На плане земляных масс подсчитывают объём грунта отдельно для насыпи и выемки (срезки), сводится баланс и приводится ведомость объёмов земляных масс.

Согласно рис. 3.12 выемка грунта осуществляется только в каре шламонакопителя. Объём такого грунта (торфа) составил, согласно ведомости объёмов земляных масс, 4742 м<sup>3</sup> (рис. 3.14).



<sup>3</sup> *Проектная отметка* – высота точки относительно исходного уровня, заданная проектом [7]

<sup>4</sup> *Фактическая отметка* – существующая высота точки относительно исходного уровня [7]

Рис. 3.12. Обустройство нефтегазового месторождения. Куст скважин. План земляных масс (фрагмент)

В зависимости от условий эксплуатации возводимых сооружений различают случаи вертикальной планировки под горизонтальную или наклонную площадку.

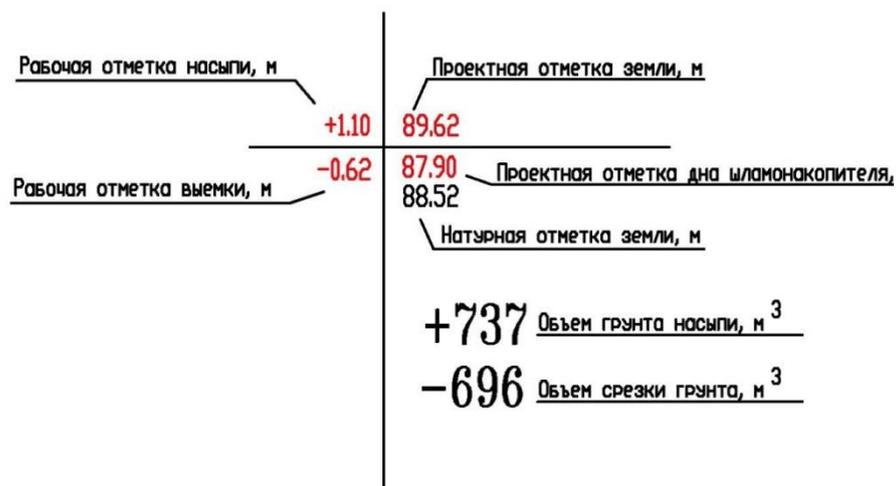


Рис. 3.13. Обозначение углов квадратов на плане земляных масс

### Ведомость объемов земляных масс

Наименование	Количество в пределах территории, м <sup>3</sup>	
	Насыпь (+)	Выемка (-)
1. Грунт планировки территории, в т.ч.:	35596	6461
-- срезанный грунт (торф 1а) в районе каре шламонакопителя используемый в отсыпку площадки ниже проектных отметок на 0.9 м.	--	(4742)
2. Вытесненный грунт, в т. ч.:		
при устройстве :	--	6206
-- автодорожных покрытий,	--	--
-- водоотводной канавы,	--	(296)
-- лежневого настила,	--	(4635)
-- защитного слоя откосов шламонакопителя из суглинка толщиной 0.10 м,	--	(911)
-- плодородной почвы на участках озеленения.	--	(364)
3. Грунт на пригруз слабозаторфованного грунта.	8779	--
4. Поправка на транспортировку грунта (K=0.01), перемещение грунта по площадке (K=0.025), и уплотнение грунта (K=0.09), Кобц=0.125	5547	--
Всего:	49922	10948
5. Недостаток пригодного грунта:		
-- суглинок тугопластичный из карьера.	--	38974
7. Плодородный грунт, всего, в т. ч.:	3841	--
-- для озеленения обвалования и откосов переезда,	--	755
-- для озеленения откосов площадки,	--	364
-- для озеленения поверхности рекультивированной площадки бригадного хоз-ва и шламонакопителя,	--	2693
-- для озеленения дополнительного обвалования площадки на период эксплуатации,	--	39
Итого перерабатываемого грунта:	53763	53763

Рис. 3.14. Ведомость объемов земляных масс (пример)

#### 3.4.2. Геометрическое нивелирование для составления проекта вертикальной планировки

Основой для составления проекта вертикальной планировки служат топографические планы местности в масштабах 1:1000 – 1:500, полученные в результате геометрического нивелирования поверхности.

В зависимости от назначения съемок и условий местности могут быть использованы следующие способы геометрического нивелирования поверхности: способ поперечников, параллельных линий, полигонов, квадратов. Способы отличаются друг от друга схемой нивелирования.

### 3.4.2.1. Способ поперечников к магистральному ходу

Способ поперечников к магистральному ходу наиболее часто используют при съемке притрассовой полосы вдоль трасс автомобильных дорог, каналов и других линейных объектов. Планово-высотным обоснованием в этом случае является трасса линейного объекта (т. е. теодолитно-нивелирный ход). С помощью угломерного прибора и землемерной ленты или рулетки через определенные расстояния разбивают поперечники  $aa_1$ ,  $bb_1$ ,  $cc_1$  и т.д. (рис. 3.15).

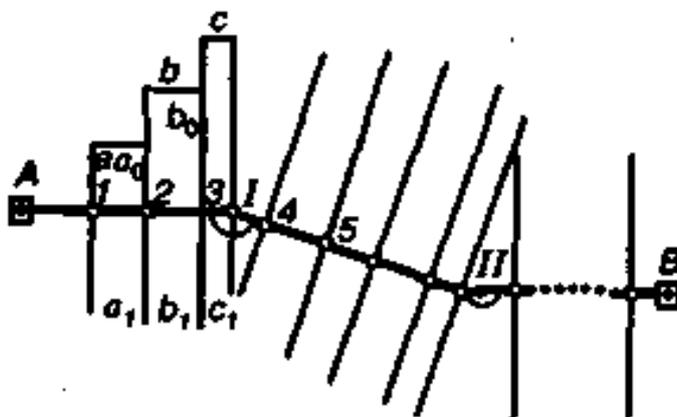


Рис. 3.15. Способ поперечников к магистральному ходу [33]

Поперечники обычно разбивают на пикетах и плюсовых точках трассы линейного объекта, высоты которых уже определены в результате продольного нивелирования в два нивелира по пикетажу трассы. Поскольку съемку ситуационных особенностей местности производят в ходе разбивки пикетажа, ситуационные точки при нивелировании поперечников не фиксируют. Съемку притрассовой полосы нивелированием по поперечникам осуществляют в такой последовательности [33]:

На данной точке прямолинейного участка трассы с помощью угломерного прибора (нивелира с лимбом, теодолита или эккера) восстанавливают перпендикуляр к трассе, откладывая горизонтальный угол, равный  $\alpha = 90^\circ$ . На криволинейных участках трассы поперечник разбивают, ориентируя прибор на одну из соседних точек трассы, расположенную на расстоянии  $\Delta K$  по кривой от снимаемого поперечника, и откладывают угол

$$\alpha = 90^\circ \left(1 - \frac{\Delta K}{\pi R}\right). \quad (3.12)$$

В полевом журнале съемки поперечников фиксируют пикетажное значение снимаемого поперечника (например, поперечник ПК 21 + 50).

Обозначают характерные точки местности на поперечнике, фиксируя в журнале соответствующие расстояния влево и вправо от трассы (например: Л + 3,5; Л + 6,0; Л + 10,2 и т. д.; П + 3,5; П + 6,0; П + 8,4 и т. д.).

Устанавливают нивелир вблизи снимаемого поперечника таким образом, чтобы по возможности с одной стоянки прибора можно было бы снять все точки поперечника.

Берут отсчет на точку трассы, в которой разбит поперечник, и определяют горизонт прибора.

Берут последовательно отсчеты на все точки влево и вправо от трассы.

Высоты точек поперечника определяют через известный горизонт прибора.

#### 3.4.2.2. Способ параллельных линий

*Способ параллельных линий* (рис. 3.16) применяют на равнинном рельефе в открытой или закрытой местности при исполнительных съёмках строительных площадок, искусственных покрытий взлётно-посадочных полос аэродромов. Основой здесь является один или несколько параллельных магистральных ходов. Перпендикулярно к магистрали либо под углом к ней разбивают поперечные профили, которые могут быть прямыми, ломаными, а также иметь свои поперечники (поперечники второго порядка) [35]. По ходам и поперечникам через равные промежутки закрепляют пикетные точки: через 40 м при съёмке в масштабе 1:2000 и через 20 м – при съёмке в масштабе 1:1000 и 1:500 [8].

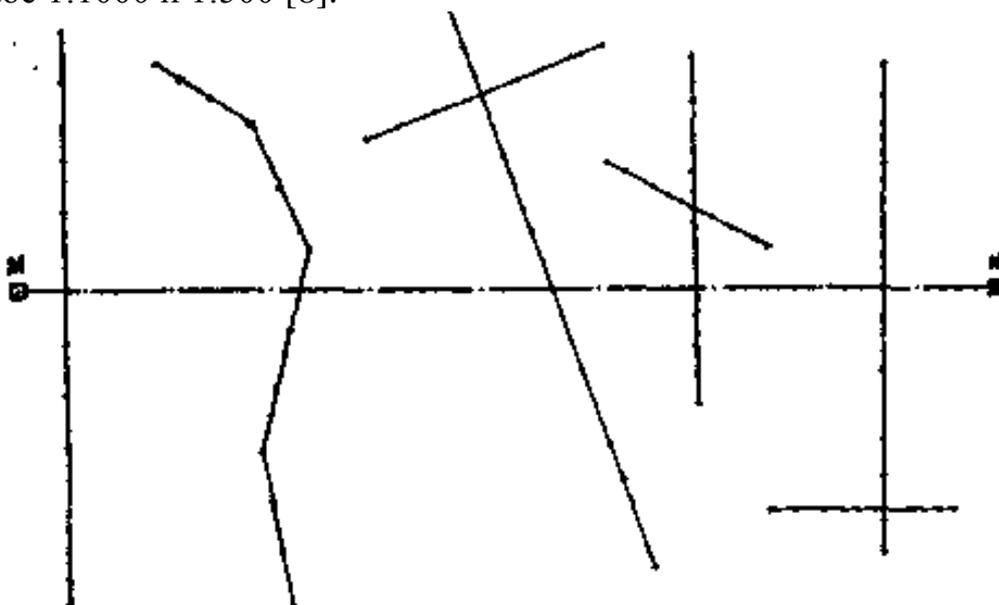


Рис. 3.16. Схема нивелирования способом параллельных линий [35]

#### 3.4.2.3. Способ полигонов

*Способ полигонов* (рис. 3.17) применяется на открытой местности с ярко выраженным рельефом. Основой для выполнения работ служит сеть сомкнутых магистралей, которые прокладывают по водоразделам и тальвегам. На магистралях разбивают поперечные профили примерно по той же схеме, как и в способе параллельных линий.

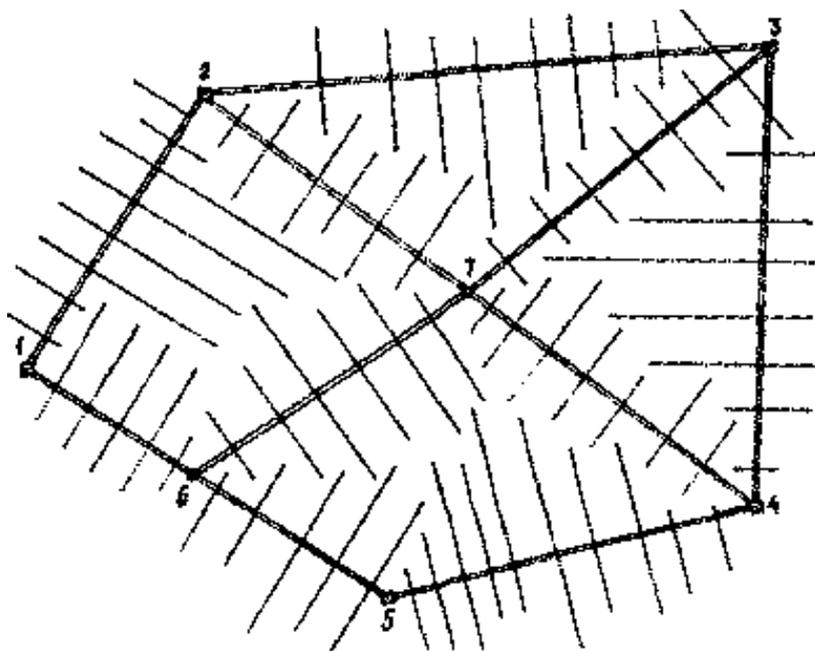


Рис. 3.17. Схема нивелирования способом полигонов [35]

Магистрالی увязывают в системе теодолитных ходов (для разомкнутого или замкнутого теодолитных ходов), вычисляют координаты и высоты точек [35].

#### 3.4.2.4. Способ нивелирования по квадратам

*Способ квадратов* применяют при топографической съемке открытых участков местности со спокойным рельефом в крупных масштабах (1:500–1:5000) с малой (0,1–0,5 м) высотой сечения рельефа с целью составления проекта вертикальной планировки и подсчета объемов земляных работ. Способ нивелирования поверхности по квадратам – самый простой и наиболее распространенный. С учетом характера рельефа, требуемой точности его изображения, сложности и назначения строящегося сооружения разбивают сети квадратов со сторонами от 5 до 100 (400) м.

Планово-высотным обоснованием служат вершины квадратов, закреплённые на местности кольями и обозначенные по определённой принятой на практике изысканий схеме. Оцифровку вершин квадратов выполняют цифрами вдоль наибольшей оси и строчными (или прописными) буквами по короткой стороне (рис. 3.18). Таким образом, каждая вершина оцифровывается буквой и цифрой: в4, г7...(В4, Г7).

Для привязки по высоте рядом с нивелируемой площадью устанавливают грунтовый репер и передают на него отметку с ближайшего исходного репера способом геометрического нивелирования.

Состав работ при *нивелировании площади по квадратам* следующий [35]:  
рекогносцировка участка;

построение на местности основных квадратов с их проектным ориентированием (съёмочного обоснования);



квадратов. Вершины полигона  $ABDC$  и точки на его сторонах закрепляют грунтовыми реперами.

Разбивка квадратов внутри полигона выполняется по створам линий  $1-1$ ,  $2-2$ , ...,  $5-5$  (рис. 3.19). Контроль разбивки выполняется вешением точек по перпендикулярным створам  $a-a$ ,  $б-б$ ,  $в-в$ . Вершины квадратов (пикеты) закрепляют кольшками. При необходимости на сторонах квадратов в точках перегиба рельефа местности закрепляют плюсовые точки.

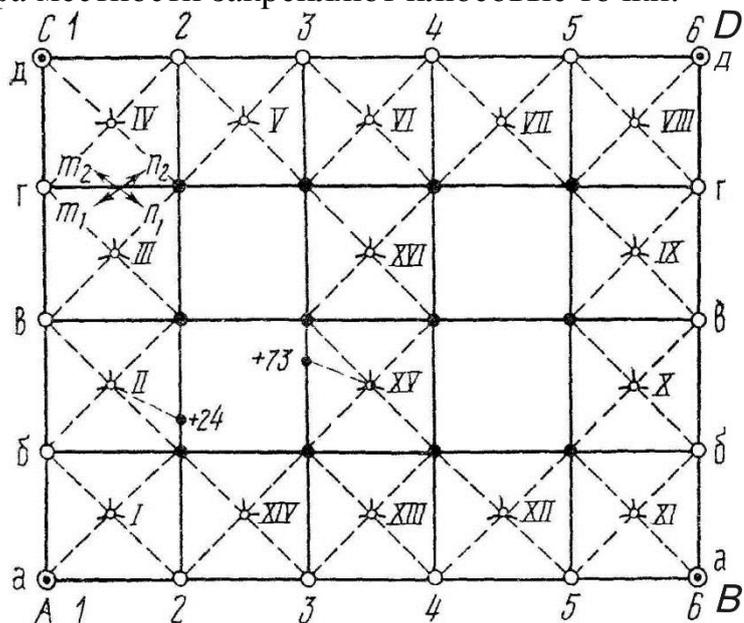


Рис. 3.19. Схема нивелирования площади при длине стороны квадратов более 100 м [17]

Одновременно с разбивкой пикетов производится съемка ситуации линейными промерами от сторон квадратов до характерных точек контуров и местных предметов. Результаты съемки заносят в абрис, на котором также показывают стрелками направление скатов (рис. 3.20). Если местность достаточно пересечённая и имеет много перегибов рельефа, то нивелируют и точки перегибов, одновременно выполняя их плановую привязку внутри квадрата [35].

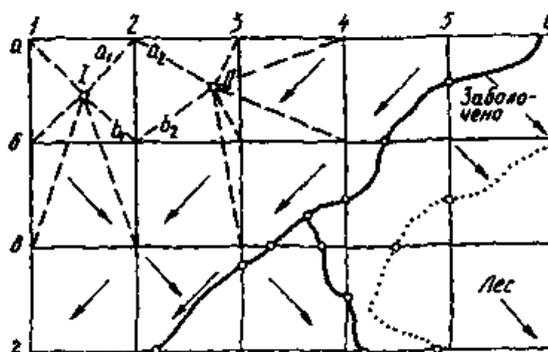


Рис. 3.20. Абрис съемки при нивелировании по квадратам (стрелками указано направление скатов) [8]

Порядок нивелирования квадратов зависит от их размера.

При длине сторон квадратов 100 м и более каждый квадрат нивелируют отдельно (рис. 3.19). В этом случае сначала прокладывают замкнутый ход по наружным квадратам, а затем – по внутренним.

Журнал нивелирования не ведут, а отсчеты по рейкам записывают прямо на схеме, внутри квадратов. Контроль и увязывание превышений ведут здесь же, по *разностям горизонтов* на смежных станциях. Порядок расчетов [3, 18].

Определяют *разности горизонтов* на смежных станциях (рис. 3.21).

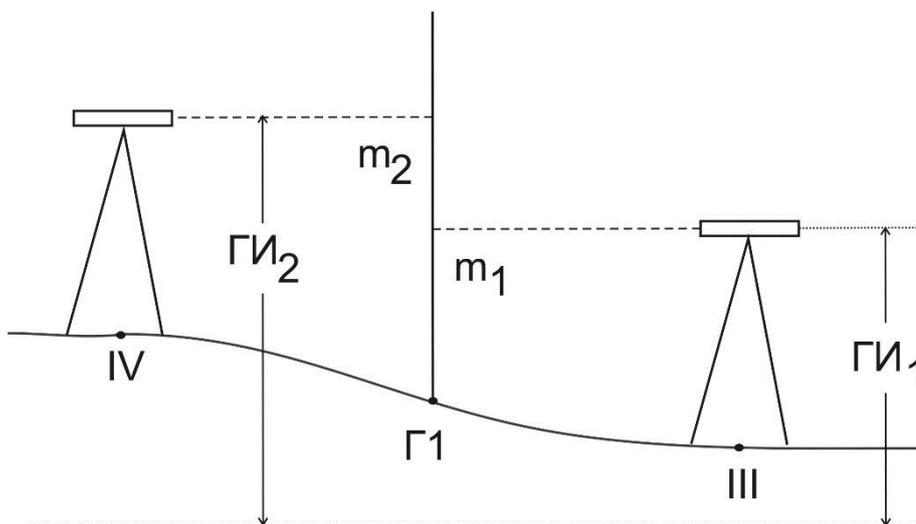


Рис. 3.21. Схема для расчёта разностей горизонтов в точке Г1

Разность отсчётов по рейке (разность горизонтов), поставленной в точке Г<sub>1</sub>, со станций III и IV равна

$$r_1' = m_2 - m_1 = \text{ГИ}_2 - \text{ГИ}_1. \quad (3.13)$$

На каждой точке отсчеты берут только по черной стороне рейки. Результаты измерений заносят на схему. Эта же разность горизонтов может быть найдена вторично, если рейку поставить в точку Г2:

$$r_1'' = n_2 - n_1 = \text{ГИ}_2 - \text{ГИ}_1. \quad (3.14)$$

Сравнивают два значения  $r_1'$  и  $r_1''$  (расхождение должно быть не более 10 мм), находят среднее значение разностей горизонтов  $r_1 = \frac{r_1' + r_1''}{2}$ , записывают его на смежной стороне соседних квадратов. Продолжают вычисление разностей горизонтов по кольцу станций. Сумма всех разностей горизонтов должна быть равна нулю.

Подсчитывают и распределение невязку. Полученная невязка  $fh = \sum r_i$  не должна превышать величины  $\pm 10 \text{ мм} \sqrt{n}$ , т.е.  $fh \leq 10 \text{ мм} \sqrt{n}$ , где  $n$  – число всех станций. Невязку распределяют поровну на все разности горизонтов со знаком, обратным знаку невязки.

Определяют горизонты инструментов, исходя из соотношения:

$$\text{ГИ}_{(k+1)} = \text{ГИ}_k + r_k^{\text{увяз}}. \quad (3.15)$$

Иначе говоря, горизонт инструмента на последующей станции равен горизонту инструмента на предыдущей станции плюс соответствующая увязанная разность горизонтов.

По полученным горизонтам (последний из полученных должен быть равен исходному) вычисляют отметки вершин квадратов, исходя из известного соотношения

$$H = ГИ - a, \quad (3.16)$$

где  $a$  – отсчёт по рейке.

Исходный горизонт получают как сумму отметки точки  $a_1$  и отсчёта по рейке в этой точке.

Далее, принимая высоты пунктов полигона за твердые, увязывают высоты внутренних пикетов как точек ходов, проложенных между пунктами наружного полигона.

В другом случае, при небольших (10–20 м) размерах сторон квадратов с одной станции нивелируют сразу несколько квадратов [18]. Для этого станции выбирают с таким расчетом, чтобы из связующих точек образовался замкнутый опорный полигон ABCDA (рис. 3.22). На одну из связующих точек передается отметка от ближайшего репера. Все остальные вершины квадратов нивелируются как промежуточные точки. Полевой контроль измерений выполняют аналогично с предыдущим случаем.

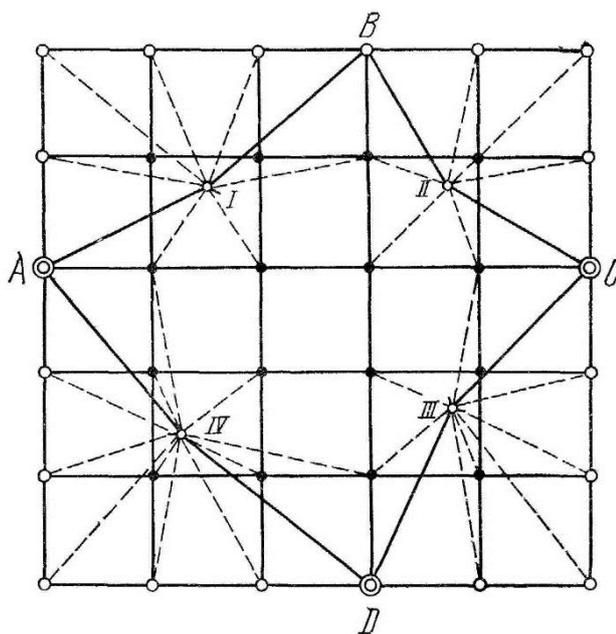


Рис. 3.22. Схема нивелирования площади при длине стороны квадрата 10–20 м [17]

Высотная невязка в замкнутом опорном ходе нивелирования должна удовлетворять условию

$$f_h = \sum h \leq 10 \text{ мм} \sqrt{n}, \quad (3.17)$$

где  $\sum h$  – сумма превышений связующих точек;  $n$  – число станций.

Распределение высотной невязки, вычисление исправленных превышений и высот связующих точек производят так же, как и в ходе продольного инженерно-технического нивелирования. Высоты промежуточных точек на каждой станции рассчитывают через горизонт нивелира.

Если длины сторон снимаемой площади не превышают 350 м (35), то нивелирование всех вершин квадратов можно выполнять с одной станции, расположив нивелир примерно посередине снимаемого участка (рис. 3.23).

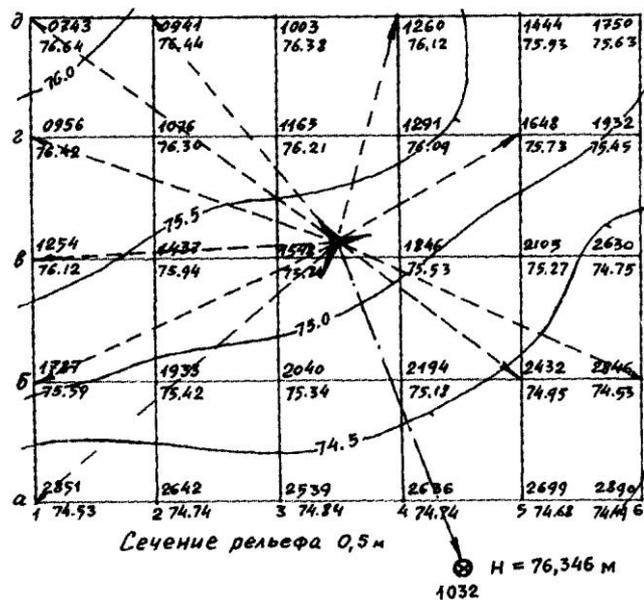


Рис. 3.23. Схема нивелирования сетки квадратов с одной станции [35]

После вычислительной обработки результатов нивелирования составляют топографический план участка местности в выбранном масштабе (рис. 3.24). На план наносят границы участка, вершины квадратов, плюсовые точки и ситуацию. Возле каждой пикетной и плюсовой точки подписывают ее отметку с округлением до 1 см. Горизонтالي проводят с заданной высотой сечения рельефа. План вычерчивают в соответствии с условными знаками.

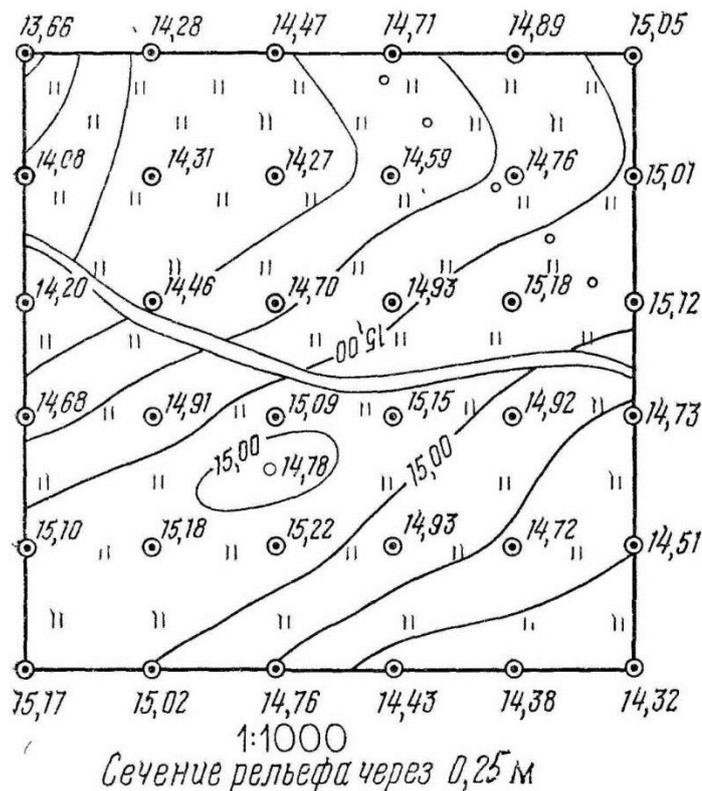


Рис. 3.24. Топографический план промплощадки предприятия [17]

### 3.4.3. Вертикальная планировка под горизонтальную площадку

Вертикальная планировка под горизонтальную площадку обычно предусматривает *соблюдение нулевого баланса земляных работ*, т. е. равенство объемов грунта по выемке (срезке) и насыпи.

Условие нулевого баланса земляных работ обеспечивается созданием горизонтальной площадки с проектной отметкой

$$H_{\text{пр}} = \frac{\sum H_I + 2\sum H_{II} + 3\sum H_{III} + 4\sum H_{IV}}{4n}, \quad (3.18)$$

где  $\sum H_I$  – сумма фактических отметок, входящих в один квадрат ( $H_{A1}, H_{Г1}, H_{Г6}, H_{A6}$ );  $\sum H_{II}, \sum H_{III}, \sum H_{IV}$  – соответственно суммы отметок вершин, общих для двух ( $H_{Г2}, H_{Г3}, H_{Г4}, H_{Г5}, \dots$ ), трёх (нет) и четырёх ( $H_{B2}, H_{B3}, H_{B4}, \dots$ ) квадратов;  $n$  – число квадратов (рис. 3.25).

По проектной отметке  $H_{\text{пр}}$  и значениям фактических отметок вершин рассчитывают рабочие отметки:

$$h_1^{\text{раб}} = H_{\text{пр}} - H_1; \quad h_2^{\text{раб}} = H_{\text{пр}} - H_2; \quad h_n^{\text{раб}} = H_{\text{пр}} - H_n. \quad (3.19)$$

Рабочие отметки с их знаками ( $h^+$  – высота насыпи и  $h^-$  – срезка, выемка грунта) записывают на чертеже возле соответствующих вершин квадратов (рис. 3.13. рис. 3.25). Квадраты сетки, имеющие в своих вершинах рабочие отметки одного знака, называются *однородными или непереходными*, а разных знаков – *переходными или смешанными*.

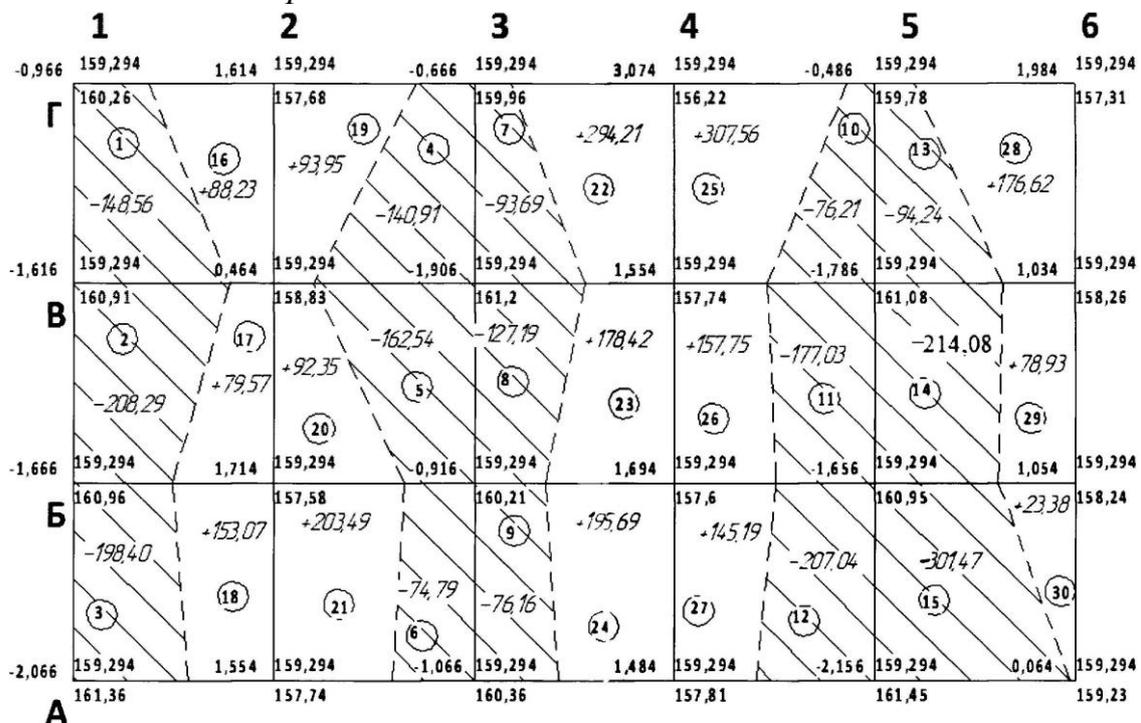


Рис. 3.25. План земляных масс: - - - линия нулевых работ ○ – номер сектора

На сторонах переходных квадратов между вершинами, имеющими рабочие отметки с разными знаками, находят положение *точек нулевых*

работ. В этих точках значения фактических и проектных отметок равны [7]. Расстояния от вершин квадратов до точек нулевых работ определяют аналитически по формуле

$$l = a \cdot \frac{|h_{\text{раб1}}|}{|h_{\text{раб1}}| + |h_{\text{раб2}}|}, \quad (3.20)$$

где  $a$  – сторона квадрата (рис. 3.26).

Соединив точки нулевых работ, получают *линию нулевых работ*. Линию нулевых работ выносят на местность по сторонам квадратов и обозначают колышками.

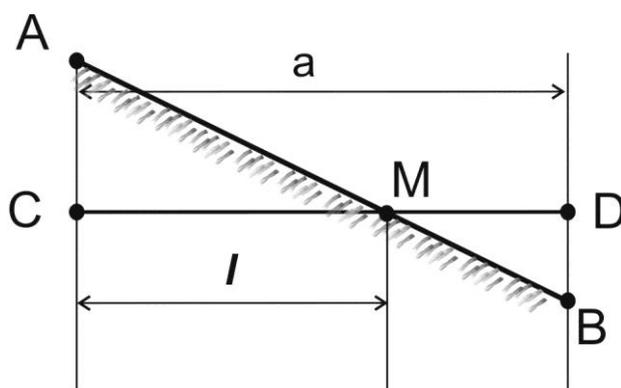


Рис. 3.26. Расчёт положения точки нулевых работ:  $a$  – сторона квадрата;  $l$  – расстояние от угла квадрата до точки нулевых работ;  $AB$  – линия фактического профиля,  $CD$  – проектная линия,  $M$  – точка нулевых работ

#### 3.4.4. Подсчёт объёмов земляных работ

При проектировании вертикальной планировки объёмы земляных работ наиболее часто определяют одним из следующих способов: горизонтальных профилей, изолиний рабочих отметок и квадратов [3, 33].

Рассмотрим последний способ. Вычисление объёмов земляных работ способом квадратов основано на использовании результатов топографических съёмок нивелирования по квадратам. Объёмы земляных работ подсчитывают на основании рабочих отметок вершин квадратов отдельно по выемке и насыпи грунта. В зависимости от характера рельефа местности и требуемой точности подсчет объёмов производят способами среднего арифметического, призм, параллельных сечений и др.

При составлении проекта вертикальной планировки на основе нивелирования поверхности по квадратам обычно используют способ призм. Для этого весь объём перемещаемого грунта разделяют на отдельные фигуры – призмы, с основанием в виде треугольника, квадрата или трапеции и высотой, равной средней рабочей отметке фигуры.

В однородных квадратах объём четырехгранной призмы (рис. 3.27) определяют по формуле [3, 33]

$$V = \pm S \cdot h_{\text{ср}} = a^2 \cdot \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}, \quad (3.21)$$

где  $S$  – площадь основания призмы (квадрата).

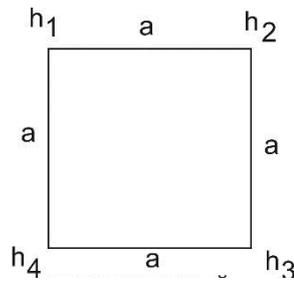


Рис. 3.27. Непереходный квадрат плана земляных масс

В смешанных квадратах стороны пересекает линия нулевых работ. Такие квадраты делят на трапеции или треугольники (рис. 3.28) и вычисляют объём фигур.

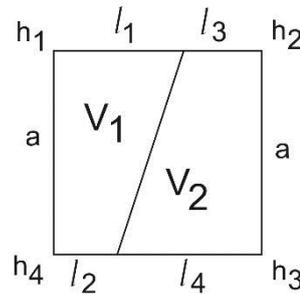


Рис. 3.28. Переходный квадрат (смешанный)

Объём четырёхгранной призмы (основание – прямоугольная трапеция) находят по формуле:

$$\begin{aligned} V_1 &= \pm S_{\text{трапец}} \cdot h_{\text{ср}} = \frac{1}{2}(l_1 + l_2) \cdot a \cdot \frac{h_1 + h_4}{4}, \\ V_2 &= \pm S_{\text{трапец}} \cdot h_{\text{ср}} = \frac{1}{2}(l_2 + l_4) \cdot a \cdot \frac{h_2 + h_3}{4}. \end{aligned} \quad (3.22)$$

При этом в подсчет средней высоты включают и нулевые точки.

Можно делать расчёт через полные стороны квадратов по формулам (рис. 3.29):

$$\begin{aligned} V_1 &= \pm \frac{a^2}{8} \cdot (h_1 + h_4) \cdot \left( \frac{h_1}{h_1 + h_2} + \frac{h_4}{h_3 + h_4} \right), \\ V_2 &= \pm \frac{a^2}{8} \cdot (h_2 + h_3) \cdot \left( \frac{h_2}{h_1 + h_2} + \frac{h_3}{h_3 + h_4} \right). \end{aligned} \quad (3.23)$$

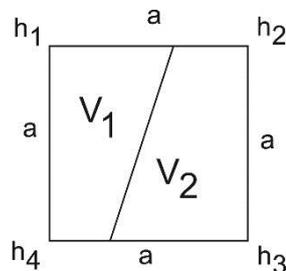


Рис. 3.29. Расчёт переходного квадрата через полные стороны

Объём каждой трехгранной призмы находят как (рис. 3.30):

$$V_1 = S_{\text{треуг}} \cdot h_{\text{ср}} = \frac{1}{2} l_1 \cdot l_2 \cdot \frac{h_2}{3}. \quad (3.24)$$

Тогда объём пятиугольника можно найти из объёма фигуры, в основании которой находится полный (непереходный) квадрат:

$$V = V_2 + V_1; \quad V_2 = V - V_1.$$

Можно делать расчёт через полные стороны квадратов по формулам:

$$V_1 = \pm \frac{1}{6a^2} \cdot \frac{h_2^3}{(h_1+h_2)(h_2+h_3)}. \quad (3.25)$$

В числителе знак учитывается, а в знаменателе все знаки положительные.

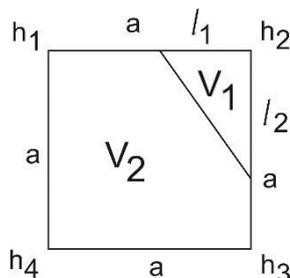


Рис. 3.30. Схема для расчёта трёхгранной призмы

И наконец, для частного случая  $h_2=0$  (рис. 3.31) можно записать следующие формулы:

$$V_2 = S_{\text{треуг}} \cdot h_{\text{ср}} = \frac{1}{2} l_1 \cdot a \cdot \frac{h_3}{3}. \quad (3.26)$$

$$V = V_2 + V_1; \quad V_2 = V - V_1.$$

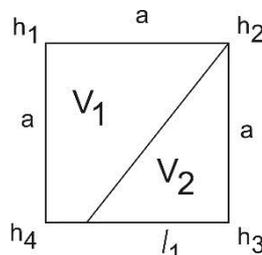


Рис. 3.31. Схема для частного случая при  $h=0$

Можно делать расчёт через полные стороны квадратов по формулам:

$$V_1 = \pm \frac{a^2}{8} \cdot (h_1 + h_4) \cdot \left(1 + \frac{h_4}{h_3 + h_4}\right),$$

$$V_2 = \pm \frac{a^2}{8} \cdot \left(\frac{h_3^2}{h_3 + h_4}\right), \quad (3.27)$$

Окончательным графическим документом вертикальной планировки является план земляных масс (см. рис. 3.32), на котором указываются фактические, проектные и рабочие отметки вершин квадратов, положение линии нулевых работ и значения объёмов насыпи или выемки грунта по однородным квадратам и отдельным частям переходных квадратов.

Вычисленные объёмы в кубических метрах по каждому квадрату выписывают с соответствующим знаком в таблицу земляных масс. Затем вычисляют общие объёмы насыпи и выемки и сводят баланс земляных работ, т. е. определяют избыток или недостаток грунта при вертикальной планировке площадки.

$$V_{\text{выемки}} = \sum_{i=1}^{i=n} V_i; V_{\text{засыпки}} = \sum_{i=1}^{i=n} V_i.$$

На практике предпочитают, чтобы объём выемок несколько превышал объём насыпей, так как вывести лишний грунт легче, чем отыскать резервный грунт для насыпи.

При нулевом балансе земляных работ должно соблюдаться условие

$$\frac{V_{\text{выемки}} - V_{\text{засыпки}}}{V_{\text{выемки}} + V_{\text{засыпки}}} \leq 5\%. \quad (3.28)$$

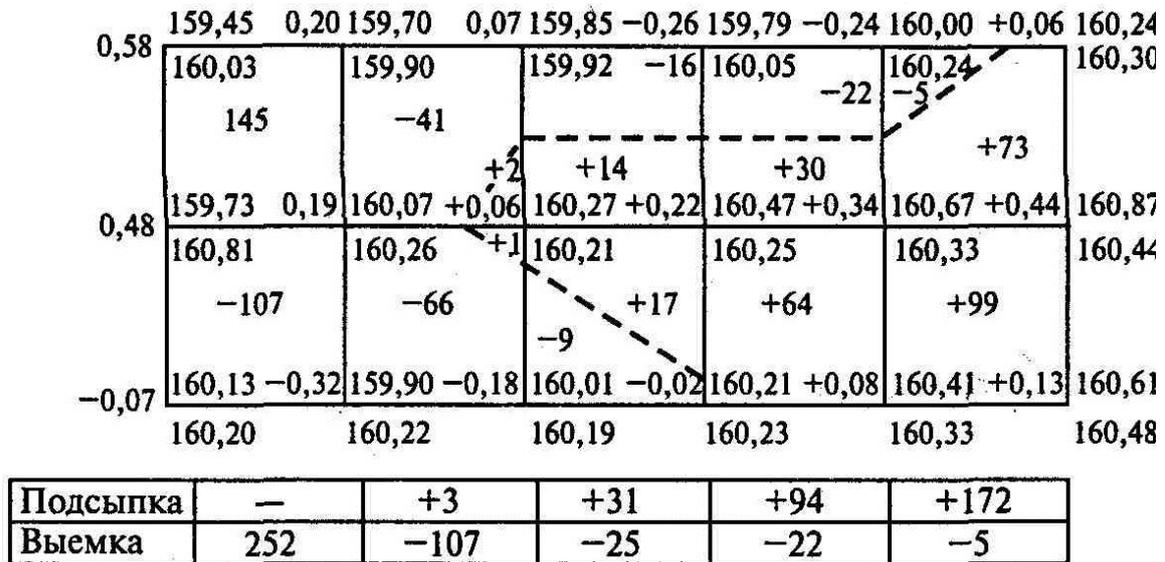


Рис. 3.3 2. План земляных масс с таблицей баланса (схема) [8]

### 3.4.5. Интерполирование и проведение горизонталей

Для составления плана строят сетку квадратов, чаще всего в масштабе 1:2000, выписывают на план высоты всех точек с округлением до 0,01 м (рис. 3.33, 3.34), интерполируют и проводят горизонталю через 0,5 м и оформляют план. Для рельефа простой формы обычно достаточно интерполирование по сторонам квадратов. При более сложных поверхностях производят дополнительное интерполирование по диагоналям квадратов.

*Интерполирование* горизонталей состоит в нахождении места, где искомая горизонталь пересекает линию между точками с известными высотами. При этом имеется в виду, что линия профиля между этими точками является прямой, т. е. уклон линии на каждом ее отрезке не изменяется. Существует два способа интерполирования горизонталей: аналитический и графический.

*Аналитический способ* состоит в вычислении расстояний между точками с известными высотами и горизонталями.

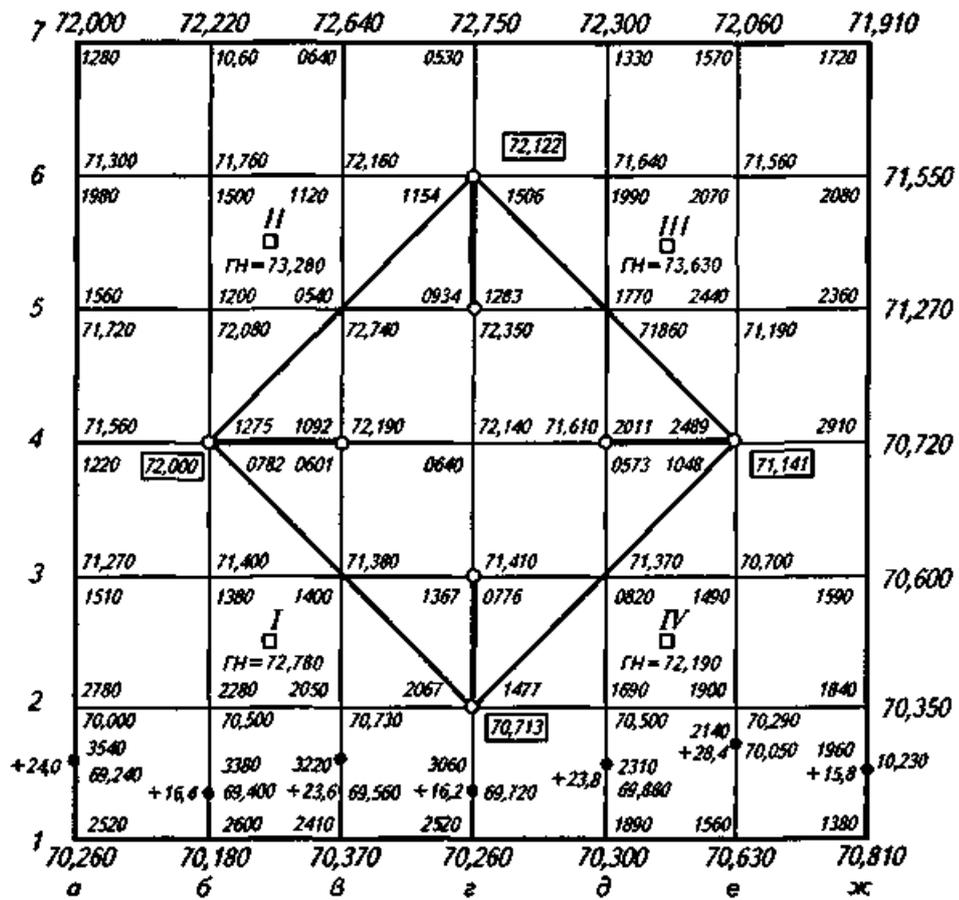


Рис. 3.33. Журнал-схема нивелирования поверхности по квадратам [13]

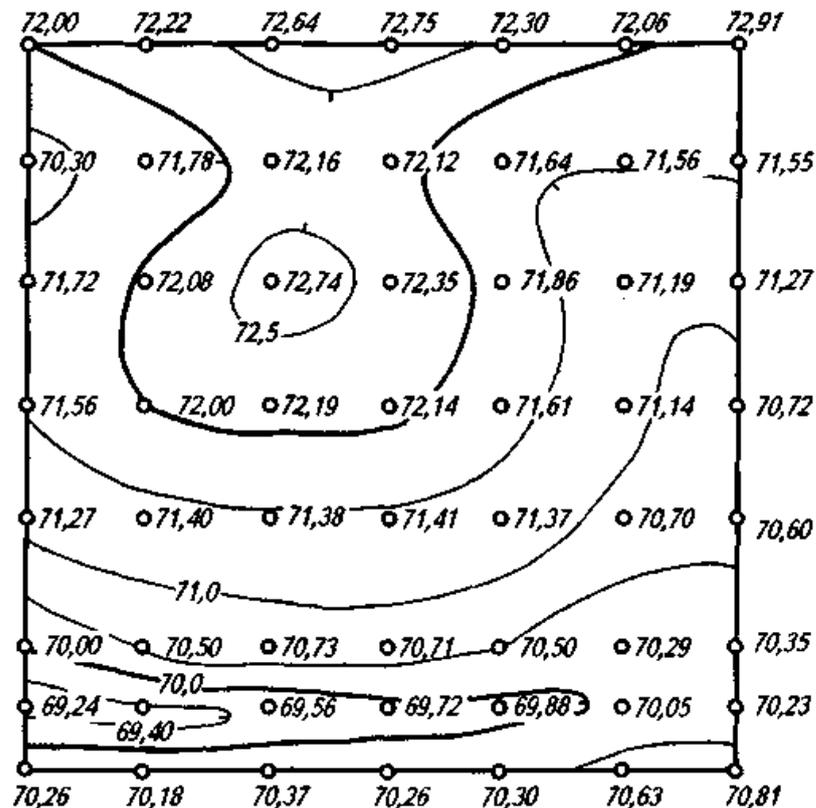


Рис. 3.34. План нивелирования поверхности [13]

Для примера (см. рис. 3.33, 3.34) возьмем квадрат с вершинами 7г, 7д, 6д, 6г и высотами соответственно 72,75, 72,30, 71,64 и 72,12 м. Рассчитаем положение горизонтали с высотой 72,5 м между точками 7г и 7д (рис. 3.35, а). Для этого вычислим расстояние между этой горизонталью и точкой 7д. Из подобия треугольников построенного профиля линии 7г–7д следует

$$\frac{d}{s} = \frac{\Delta h}{h}, \text{ откуда}$$

$$d = \frac{\Delta h}{h} \cdot s.$$

Но  $\Delta h = 72,50 - 72,30 = 0,20$  м;  $h = 72,75 - 72,30 = 0,45$  м;  $s = 40$  м (длина стороны квадрата), поэтому  $d = \frac{0,20}{0,45} \cdot 40 = 17,8$  м. Следовательно, горизонталь с высотой 72,5 м проходит на расстоянии 17,8 м от точки 7д и на расстоянии 22,2 м от точки 6г. Отложив одно из этих расстояний от соответствующей точки, получаем положение горизонтали.

Аналогично рассчитано положение горизонтали с высотой 72,5 м между точками 7г и 6г, а также положение горизонтали с высотой 72,0 м между точками 7д и 6д, 6г и 6д. В рассмотренном квадрате горизонтали пересекает диагональ 7г–6д, поэтому полезно рассчитать положение этих горизонталей и по диагонали. Результаты этих расчетов записаны на рис. 3.35, а

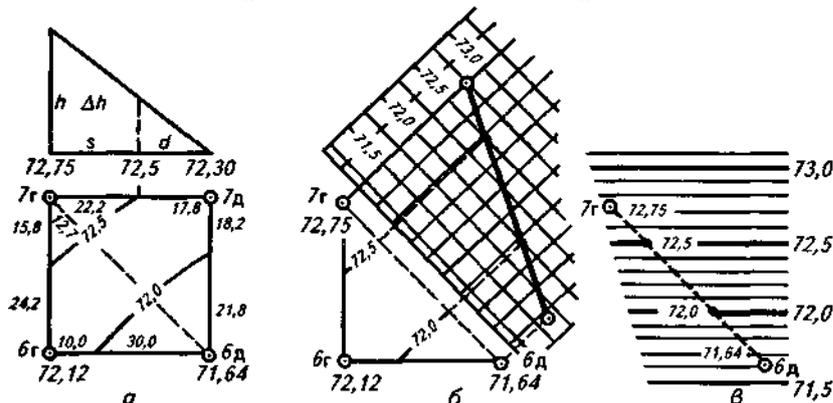


Рис. 3.35. Схемы интерполирования горизонталей, способы: а – аналитический; б – графический по клеткам; в – графический по параллельным линиям [13]

Расчеты при интерполировании горизонталей можно производить в уме – сравнением величин  $h$  и  $\Delta h$ , т. е. решать задачу делением отрезка на части.

При *графическом способе* горизонтали интерполируют, используя миллиметровую или клетчатую бумагу (рис. 3.35, б). Ее прикладывают к точкам и на ней в произвольном вертикальном масштабе строят профиль линии 7г–6д, подписывая высоты горизонталей. Затем точки пересечения линии профиля с линиями горизонталей проектируют на линию 7г–6д и получают положение горизонталей на этой линии. Графический способ интерполирования горизонталей тем точнее, чем крупнее вертикальный масштаб профиля.

Интерполировать горизонтали можно, пользуясь прозрачной бумагой (калькой) с параллельными линиями (рис. 3.35, в), против которых подписывают высоты горизонталей. Затем бумагу накладывают на линию 7г–6д так, чтобы точки 7г и 6д расположились между параллельными линиями с

соответствующими высотами, после чего точки пересечения линии 7г–бд с линиями горизонталей перекалывают на план.

После интерполирования положения горизонталей на сторонах квадратов и по диагонали проводят горизонтали, плавно изгибая их при изменении направления, чтобы правильно отобразить формы рельефа (см. рис. 3.35).

Вычерчивают горизонтали плавными линиями толщиной 0,1 мм, от руки, коричневым цветом. Горизонтали с высотами, кратными 2 м, утолщают, в закруглениях горизонталей ставят бергштрихи, в разрывах некоторых горизонталей подписывают их высоты (основания цифр – ниже по скату).

Если на журнале-схеме отражены снятые способом перпендикуляров контуры ситуации, то их наносят на составляемый план нивелирования поверхности.

### 3.4.6. Вертикальная планировка под наклонную площадку

Проектирование площадок по заданному уклону производят при вертикальной планировке внутриквартальных территорий, при устройстве наклонных площадок под технологическое оборудование и т. п. [2, 18]. Исходными данными являются фактические отметки вершин квадратов, проектная отметка *опорной* точки М (рис. 3.36) и проектные уклоны по взаимно перпендикулярным сторонам квадратов  $i_1$  и  $i_2$ . Расчеты и построения ведутся на рабочем чертеже, на котором нанесена сетка квадратов в масштабе 1:500.

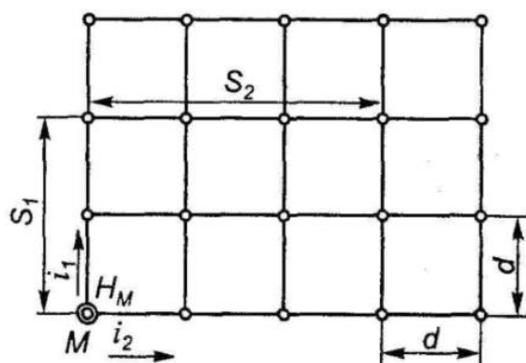


Рис. 3.36. Наклонная площадка [18]

Связь между проектными отметками точек наклонной проектной плоскости и опорной точки М в общем случае устанавливается по формуле

$$H_n = H_M + i_1 S_1 + i_2 S_2, \quad (3.29)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – расстояния по сторонам квадратов от опорной до искомой точки.

Практически сначала вычисляют проектные превышения по сторонам квадрата

$$h_1 = i_1 \cdot d; \quad h_2 = i_2 \cdot d, \quad (3.30)$$

где  $d$  – длина стороны квадрата.

Далее по отметке опорной точки М и рассчитанным превышениям находят проектные отметки вершин квадратов по контуру сетки, а затем – вершин квадратов внутри контура. Такая последовательность обеспечивает надежный контроль вычислений.

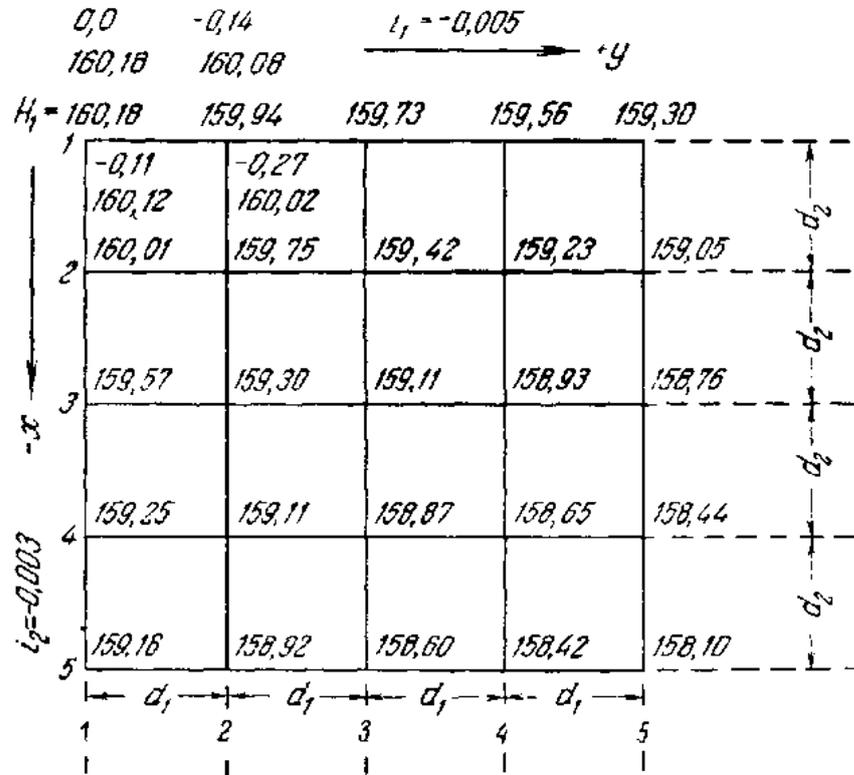


Рис. 3.37. Проектирование наклонной плоскости [2]

