

Федеральное агентство по образованию
Пермский государственный технический университет
Строительный факультет
Кафедра строительного производства

Определение объемов
земляных работ

Методическое пособие для студентов
специальности 2903, 2905

Пермь 2006

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ ПЛАНИРОВКЕ ТЕРРИТОРИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

Содержание поставленной задачи: площадку, отведенную под строительство, требуется спланировать с заданным уклоном, при этом должно быть соблюдено условие нулевого баланса земляных масс. В этом случае объемы срезаемого грунта равны объемам подсыпки территории с учетом объемов грунта в откосах.

При решении указанной задачи соблюдается следующая последовательность расчетов:

1. Подлежащая планировке территория делится на квадраты со сторонами 10, 20, 50 или 100 м в зависимости от ее размеров и сложности рельефа.
2. Определяются нивелированием абсолютные черные отметки территории в углах квадратов ($H_{\text{чер}}$), отображающие естественный рельеф площадки.
3. Вычисляется средняя абсолютная отметка планировки (H_0), отобразившая мысленное горизонтальное положение площадки.
4. Рассчитываются абсолютные красные отметки в углах квадратов ($H_{\text{кр}}$), отображающие положение спланированной площадки под заданный уклон.
5. На базе абсолютных красных, черных и нулевой отметок вычисляются высоты срезы (выемки) или подсыпки (насыпи) грунта в углах квадратов (h_p), названные рабочими отметками. Все виды отметок расчитываются в метрах с точностью до второго знака после запятой.
6. По значениям рабочих отметок наносится линия нулевых работ (ЛНР) и граница откосов площадки.
7. Определяются объемы грунта выемки и насыпи методами квадратных или треугольных призм, вычисляются объемы грунта в откосах площадки.
8. Составляется баланс земляных работ. При несоблюдении баланса земляных масс корректируется нулевая отметка территории.
9. Рассчитывается дальность перемещения грунта как среднее расстояние между центрами тяжести объемов выемки и насыпи.
10. Определяются объемы земляных работ при разработке выемок (траншей или котлованов) на спланированной территории.

Физический смысл определения отметок в вершинах геодезической сетки отображен на схеме разреза участка площадки (рис. 1):

Составитель Т. М. Бочкарева

УДК 69С427

Определение объемов земляных работ: Метод. пособие для студентов специальности 2903, 2905 очной и заочной форм обучения/ Сост. Т. М. Бочкарева: Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 2006. 42 с.

Дана методика расчета объемов земляных масс при планировке площадки и разработке выемок.

Табл. 10. Ил. 21.

Рецензент А. Н. Юзефович

1. Особенности разбивки геодезической сетки при вертикальной планировке площадки

Геодезическая сетка выполняется только из квадратов при сложном рельефе либо из треугольников при сложном рельефе (рис. 2 а, б). Площадка может быть разделена на квадраты, часть из которых поделены дополнительно на треугольники или более мелкие квадраты в местах изменения рельефа с простого на сложный (рис. 2, в). При делении геодезической сетки на треугольники диагонали обычно проводят параллельно горизонталям и направлениям водоразделов, с целью графической наглядности диагонали рекомендуются водоразделов, с целью графической наглядности диагонали рекомендуются, проводить в направлении приблизительно перпендикулярном горизонталям.

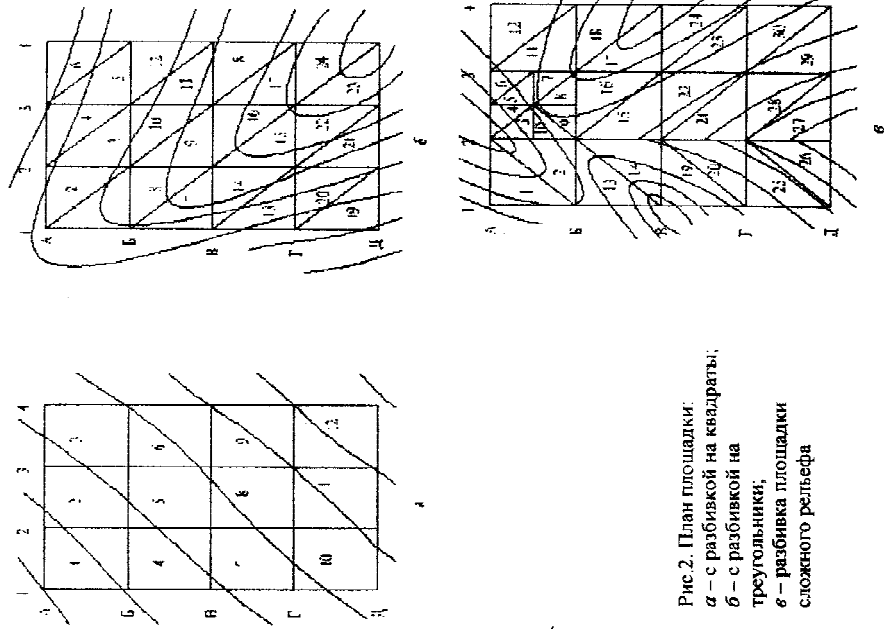


Рис. 2. План площадки:
 а — с разбивкой на квадраты;
 б — с разбивкой на треугольники;
 в — разбивка площадки сложного рельефа

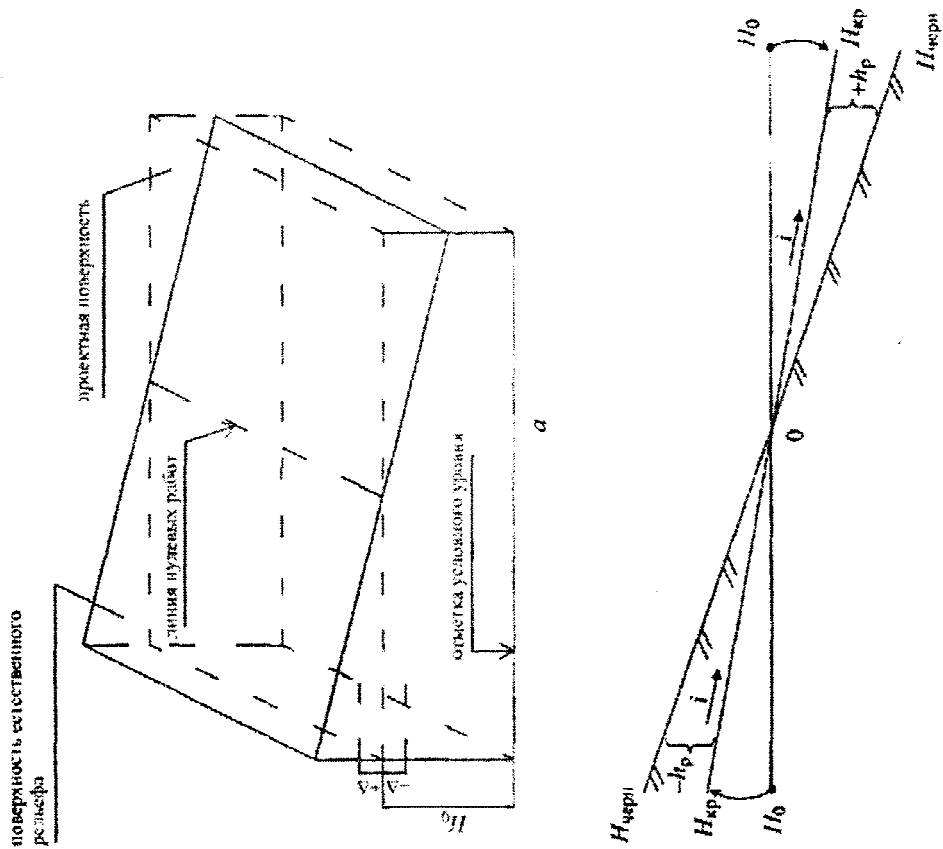


Рис. 1. Схема вертикальной планировки площадки: а - в виде объемной призмы, б - в разрезе планируемой площадки

2. Определение черных отметок вершин геодезической сетки

Черные отметки $H_{\text{черн}}$ вершин геодезической сетки определяют по формуле, основанной на принципе геометрической интерполяции,

$$H_{\text{черн}} = H_{\text{гор}} \pm \frac{h_{\text{гор}}}{b_{\text{гор}}} \cdot x, \quad (1)$$

$H_{\text{черн}}$ - черная отметка горизонтали, ближайшей к вершине;

$h_{\text{гор}}$ - превышение между соседними горизонталями по высоте;

$b_{\text{гор}}$ - расстояние между горизонталями, между которыми находится рассматриваемая вершина, м;

x - расстояние от ближайшей горизонтали до рассматриваемой вершины, м;

Значения $b_{\text{гор}}$ и x измеряют масштабной линейкой. Существуют два способа замеров значений $b_{\text{гор}}$ и x :

а) по вертикальным или горизонтальным линиям геодезической сетки (рис. 4, а);

б) в перпендикулярном направлении к горизонталям (рис. 4, б) (по кратчайшему расстоянию между горизонталями через вершину геодезической сетки).

Первый способ геометрической интерполяции является более точным. Если рассматриваемая вершина геодезической сетки расположена на естественном рельефе выше горизонтали, от которой ведется расчет, в формуле (1) принимается знак (+), если она ниже горизонтали, принимается знак (-).

Результаты подсчета сводятся в табл. 1.

Таблица 1

Значения черных отметок в вершинах геодезической сетки

Шифр вершин геодезической сетки	Черная отметка $H_{\text{черн}} = H_{\text{гор}} \pm \frac{h_{\text{гор}}}{b_{\text{гор}}} \cdot x$
A1	
A2	
A3	

Примечание: в табл. 1 формулу 1 вносить полностью со значениями всех рассматриваемых величин.

При сложном рельефе наиболее целесообразна сетка квадратов со сторонами 25-50 м. Для точности расчета желательно длину стороны квадрата назначить так, чтобы между вершинами сетки проходила хотя бы одна горизонталь.

Вершины сетки шифруются по вертикали буквами, по горизонтали — цифрами (рис. 3).

Нумерация геометрических фигур сетки (квадратов или треугольников) выполняется слева направо и сверху вниз (см. рис. 2).

На горизонталях площадки естественного рельефа наносятся значения черных отметок ($H_{\text{черн}}$) с учетом заданного превышения между горизонталями по высоте ($h_{\text{гор}}$) и направления уклонов площадки. Например, значения черных отметок горизонталей естественного рельефа (рис. 3) определены от заданной минимальной отметки горизонтали, равной 120,00 м, с учетом заданных направлений уклонов территории и превышения соседних горизонталей по высоте ($h_{\text{гор}}$), равно 0,5 м.

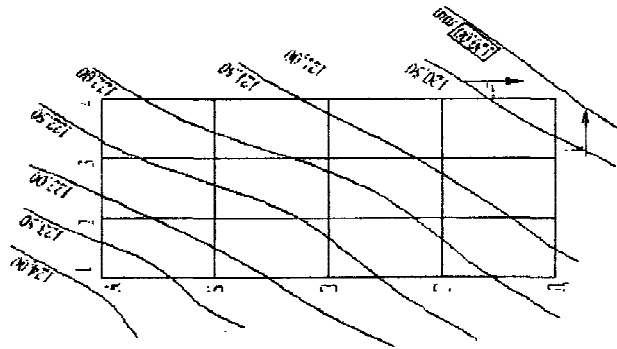


Рис. 3. План площадки с обозначением горизонталей поверхности естественного

$\sum H_{(2)}$ - сумма черных отметок вершин, относящихся к двум квадратам, т.е. в точках, в которых сходятся два угловых сопряжения геодезической сетки (суммируются значения черных отметок по периметру геодезической сетки, кроме угловых точек) (см. рис. 2, *d*).

$\sum H_{(2)} = H^{A2} + H^{A3} + H^{B4} + H^{B4} + H^{A4} + H^{A3} + H^{A2} + H^{B1} + H^{B1}$;

$\sum H_{(4)}$ - сумма черных отметок вершин, в которых сходятся четыре угловых сопряжения одновременно четырех квадратов (см. рис. 2, *d*).

$\sum H_{(4)} = H^{B2} + H^{B3} + H^{B2} + H^{B3} + H^{B3} + H^{B3}$;

i - количество квадратов в геодезической сетке.

При разбивке планируемой территории на треугольники с расположением диагоналей в одном направлении (рис. 2, *b*), H_0^Δ определяется по формуле:

$$H_0^\Delta = \frac{\sum H_{(1)} + 2\sum H_{(2)} + 3\sum H_{(3)} + 6\sum H_{(6)}}{6i} \quad (3)$$

обозначения в этой формуле аналогичны принятым в формуле (2).

$\sum H_{(1)} = H^{A4} + H^{B1}$

$\sum H_{(2)} = H^{A1} + H^{B4}$

$\sum H_{(3)} = H^{A2} + H^{A3} + H^{B4} + H^{A4} + H^{B3} + H^{A2} + H^{B1} + H^{B1}$,

$\sum H_{(6)} = H^{B2} + H^{B3} + H^{B2} + H^{B3} + H^{B3} + H^{B3}$

$6i$ - количество всех вершин треугольников (где i - число квадратов).

В случае различного направления диагоналей треугольников на площадке (см. рис. 2, *в*), для расчета значения H_0^Δ используется формула:

$$H_0^\Delta = \frac{\sum H_{(1)} + 2\sum H_{(2)} + 3\sum H_{(3)} + 4\sum H_{(4)} + 5\sum H_{(5)} + 6\sum H_{(6)} + 7\sum H_{(7)} + 8\sum H_{(8)}}{3i} \quad (4)$$

где H_i - сумма черных отметок вершин, относящихся соответственно к одному, двум ... восьми треугольникам;

i - число треугольников, на которые разбита площадка

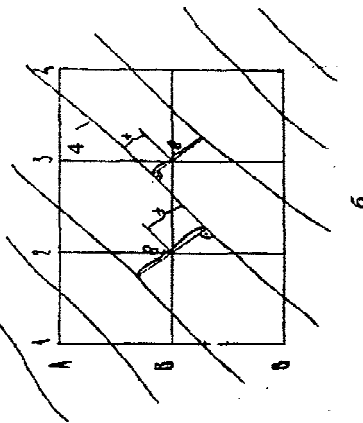
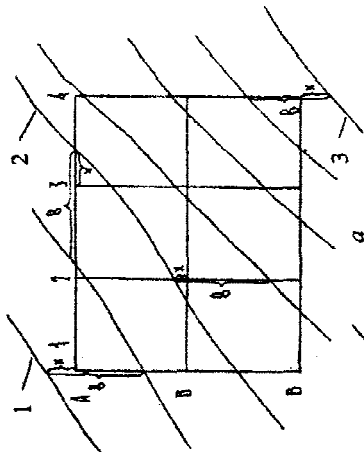


Рис. 4. Определение значений b и x при расчете четных отметок в вершинах геодезической сетки: a - замеры по граням геодезической сетки; b - замеры по кратчайшему расстоянию через вершину геодезической сетки.

1 - ближайшая горизонталь к вершине А1; 2 - ближайшая горизонталь к вершинам А3 и В2; 3 - ближайшая горизонталь к вершине В4; 4 - ближайшая горизонталь к вершинам В2 и В3.

3. Определение средней планировочной отметки

Среднюю планировочную отметку территории H_0 рассчитывают исходя из условия нулевого баланса грунта на планируемой площадке, при котором объемы выемки и насыпи равны.

При разбивке территории на квадраты H_0^\square определяется по формуле:

$$H_0^\square = \frac{\sum H_{(1)} + 2\sum H_{(2)} + 4\sum H_{(4)}}{4i} \quad (2)$$

Где $\sum H_{(1)}$ - сумма черных отметок вершин, относящихся к одному квадрату, т.е. с одним угловым сопряжением линий геодезической сетки (см. рис. 2, *a*), $\sum H_{(2)} = H^{A1} + H^{A2} + H^{B1} + H^{B4}$;

В одной вершине может сходиться от одного до восьми углов треугольников (см. рис. 2, в).

4. Определение красных (проектных) отметок

Красные отметки $H_{кр}$ определяют методом поворота площадки вокруг осей симметрии $N-N'$; $O-O'$ из мысленного горизонтального положения площадки с отметкой H_0 в положение спланированной площадки с заданным уклоном (рис. 5, а). Оси поворота делят площадку на симметричные части (рис. 5, б).

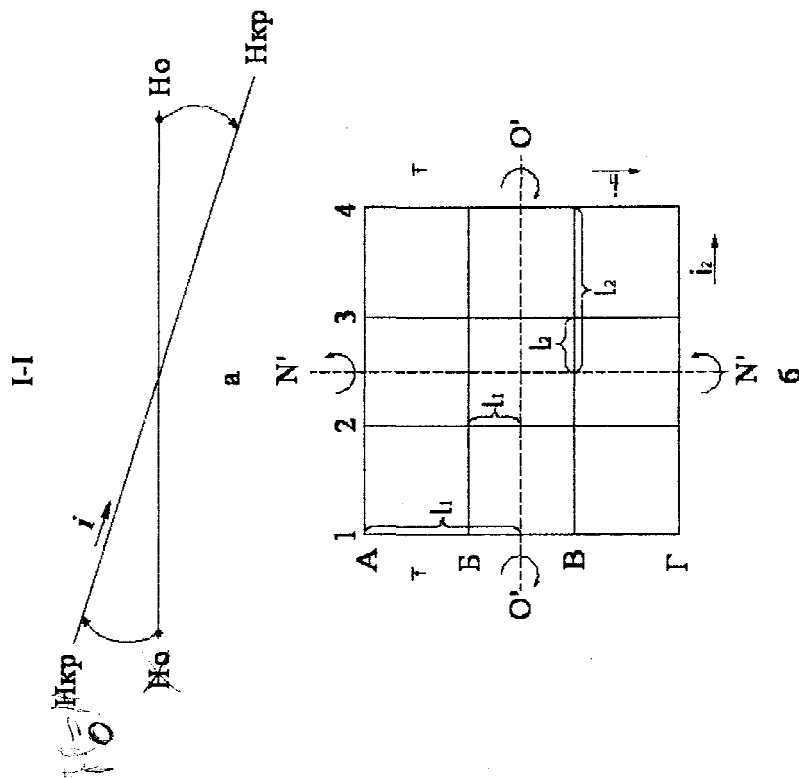


Рис. 5. Схема поворота площадки: а – в разрезе; б – в плане

При планировке площадки под одним уклоном красные отметки вычисляются по формуле:

$$H_{кр} = H_0 \pm i \cdot l \quad (5)$$

В случае планировки территории с двумя уклонами красные отметки вычисляются по формуле:

$$H_{кр} = H_0 \pm l_1 \cdot i_1 \pm l_2 \cdot i_2 \quad (6)$$

где $l_{1,2}$ - расстояние от вершин геодезической сетки до оси вращения, соответственно до оси симметрии площадки $N-N'$ и до оси симметрии площадки $O-O'$, называемое плечом поворота, м;

i_1 - уклон вдоль длинной стороны площадки;

i_2 - уклон вдоль короткой стороны площадки.

Результаты расчета значений красных отметок ($H_{кр}$) сводят в табл. 2.

Таблица 2

Значения красных отметок в вершинах геодезической сетки

Шифр вершины	Плечо поворота		Уклоны		Красная (планировочная) отметка $H_{кр}$
	l_1	l_2	i_1 (tg α)	i_2 (tg β)	

5. Определение рабочих отметок

Рабочие отметки определяются по формуле:

$$\pm h_p = H_{кр} - H_{черн} \quad (7)$$

Знак «плюс» ($h_p > 0$) указывает на необходимость подсыпки, т.е. создания «насыпи» грунта, а знак «минус» ($h_p < 0$) – срезки грунта, т.е. создания «выемки». Полученные значения сводят в табл. 3.

Таблица 3

Значения рабочих отметок в вершинах геодезической сетки

Шифр вершины	Красные отметки $H_{кр}$	Черные отметки $H_{черн}$	Рабочие отметки (h_p)	
			(+) насыпь	(-) выемка

6.1. Аналитический метод

При аналитическом методе координаты точек с нулевыми рабочими отметками рассчитывают по формуле:

$$I_{x(y)} = \frac{a \cdot h_{(2)}}{\sum |h_{-2}|} \quad (8)$$

где a — сторона квадрата;

$h_{(2)}$ — значение рабочей отметки вершины, от которой ведется отсчет;

$\sum |h_{-2}|$ — сумма абсолютных значений рабочих отметок в вершинах, между которыми находится точка с нулевым значением рабочей отметки.

6.2. Графический метод

При использовании графического метода точки с нулевой рабочей отметкой устанавливаются графической интерполяцией (рис. 7). На геодезической сетке определяют граничные вершины, у которых рабочие отметки имеют разные знаки. От рассматриваемых граничных вершин откладывают в противоположных направлениях значения рабочих отметок в масштабе 1:100. Пересечение линии квадрата с линией, соединяющей рабочие отметки разных знаков, является точкой с нулевой рабочей отметкой.

Соединив все точки с нулевыми значениями рабочих отметок, получают линию нулевых работ.

7. Построение откосов площадки

Величину заложения откосов в плане ($c = k_p \cdot m$) рассчитывают по значению рабочих отметок в вершинах геодезической сетки, находящихся по периметру спланированной территории. Коэффициент заложения откоса (m) зависит от вида грунта, глубины выемки или высоты насыпи (табл. 4). При построении откоса «выемки» коэффициент m принимают в соответствии с типом грунта, при построении откоса «насыпи» — в соответствии с графой «насыпной грунт».

Значения черных, красных и рабочих отметок указывают в вершинах геодезической сетки: черная отметка в нижнем правом углу каждой вершины (черным цветом), красная отметка в правом верхнем углу вершины (красным цветом), рабочая отметка в верхнем левом углу вершины (рис. 6).

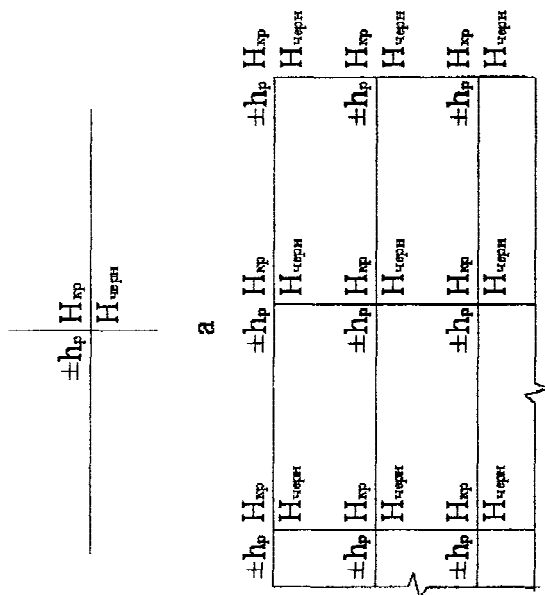


Рис. 6. Схема обозначения черных ($H_{черн}$), красных ($H_{кр}$) и рабочих (h_p) отметок в вершинах геодезической сетки: а — в одной вершине площадки; б — на фрагменте площадки

6. Построение линии нулевых работ (ЛНР)

Нулевая линия является границей между выемкой и насыпью планируемой территории. Она представляет собой ломаную линию, построенную по нулевым значениям рабочих отметок.

Координаты нулевых рабочих отметок можно определить аналитическим или графическим методом.

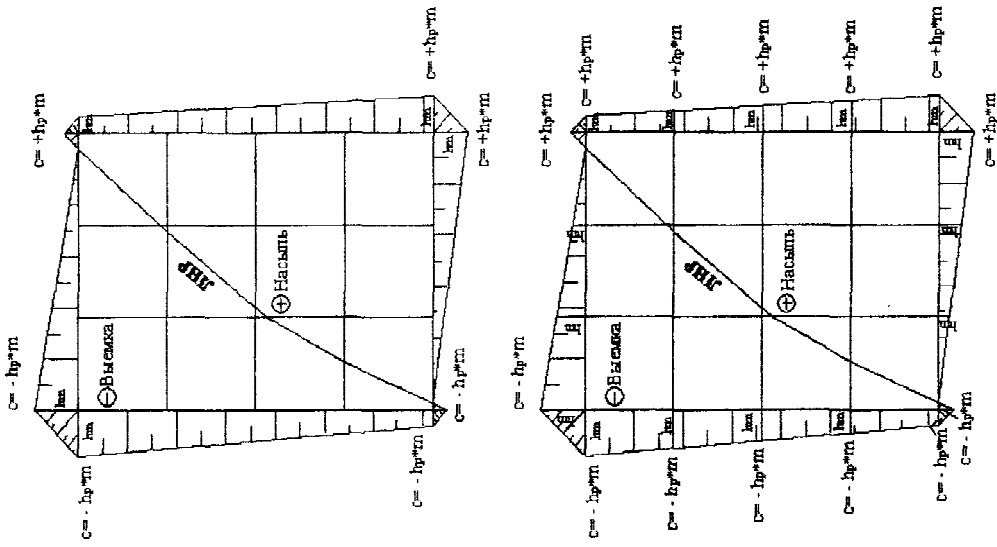


Рис. 8. Схемы построения откосов по величине их заложения:
 а - в угловых точках периметра геодезической сетки; б - во всех
 точках периметра геодезической сетки

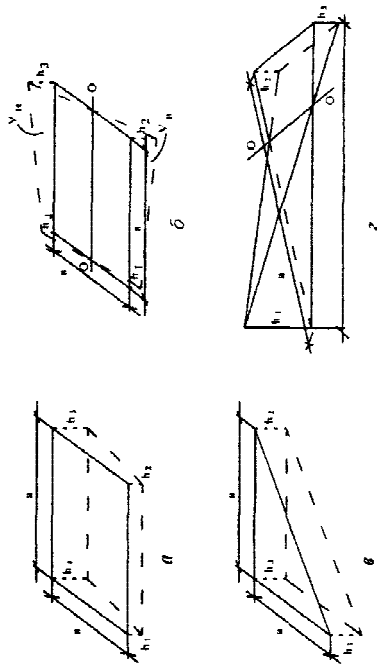


Рис. 9. Фигуры призм: а) «чистая» квадратная призма; б) «смешанная» квадратная призма; в) «чистая» треугольная призма; г) «смешанная» треугольная призма

В методике расчета п. 8.1, п. 8.2 и п. 9 в качестве пронумерованных отметок (h_1, h_2, h_3, h_4) принимаются рабочие отметки квадратов или треугольников, ранее обозначаемые как h_p .

8.1. Метод квадратных призм

1. В «чистых» призмах объем (m^3) грунта выемки V или насыпи V' высчитывают по формуле

$$\pm V'_{в(ч)} = a^2 \frac{\sum |h_{i-4}|}{4}, \quad (9)$$

где $\sum |h_{i-4}|$ - сумма значений всех рабочих отметок в вершинах квадрата,

$$\sum |h_{i-4}| = |h_1| + |h_2| + |h_3| + |h_4|;$$

а - сторона квадрата, м.

2. Объемы (m^3) грунта в «смешанных» призмах определяют по формулам:

$$\pm V'_{в(ч)} = \frac{a^2 \left[\sum |h_{в(ч)}| \right]^2}{4 \sum |h_{i-4}|}, \quad (10)$$

где $\sum |h_{в(ч)}|$ - сумма значений рабочих отметок выемки или насыпи;

$\sum |h_{i-4}|$ - сумма абсолютных значений четырех (всех) отметок квадрата.

Иначе формулы (9) и (10) могут быть представлены в следующем виде:

$$\pm V'_a = \frac{a^2}{4} \frac{(|h_{1(с)}| + |h_{2(с)}|)^2}{(|h_1| + |h_2| + |h_3| + |h_4|)} \quad (11)$$

$$\pm V'_n = \frac{a^2}{4} \frac{(|h_{1(н)}| + |h_{2(н)}|)^2}{(|h_1| + |h_2| + |h_3| + |h_4|)} \quad (12)$$

8.2. Метод треугольных призм

1. Объем выемки или насыпи в «чистых» призмах можно рассчитать по одной из формул:

$$\pm V'_{в(ч)} = \frac{a^2}{2} \cdot \frac{\sum |h_{i-3}|}{3} \quad (13)$$

$$\pm V'_{в(ч)} = \frac{A}{6} \cdot (|h_1| + |h_2| + |h_3|) \quad (14)$$

где A - площадь треугольной призмы, м²;

a - в данном случае, сторона (катет) треугольника, м.

2. Объем грунта в «смешанных» треугольных призмах можно рассчитывать по двум методикам.

При использовании первой методики объем выемки или насыпи для «смешанной» треугольной призмы определяются по формулам:

- 1) для фигуры, отсеченной ЛНР с одной рабочей отметкой (м³)
- 2)

$$\pm V'_{в(н)} = \frac{a^2}{6} \cdot \frac{|h_1|^2}{(|h_1| + |h_2|)(|h_1| + |h_3|)} \quad (15)$$

где h₁ - рабочая отметка участка призма, одиноко отсеченного линией нулевых работ;

h₂, h₃ - рабочие отметки участка призма, с двумя вершинами одного знака, отсеченного той же линией.

- 3) для фигуры, отсеченной ЛНР с двумя рабочими отметками (м³)
- 4)

$$\pm V'_{в(н)} = \frac{a^2}{6} \left[\frac{|h_1|^3}{(|h_1| + |h_2|)(|h_1| + |h_3|)} - |h_1| + |h_2| + |h_3| \right] \quad (16)$$

При расчете по второй методике в «смешанных» треугольных призмах сначала определяют объем пирамиды (м³):

$$\pm V'_{\text{приз}} = \frac{a^2}{6} \cdot \frac{h_1^3}{(|h_1| + |h_2|)(|h_1| + |h_3|)} \quad (17)$$

затем вычисляют объем клина

$$\pm V'_{\text{кл}} = \pm V'_{\text{приз}} - (\pm V'_{\text{приз}}) \quad (18)$$

где V'_{кл} - объем трехгранной призмы, для определения которого рабочие отметки берут со своими знаками, м³.

$$\pm V'_6 = \frac{a^2}{6} (\pm h_1 \pm h_2 \pm h_3) \quad (19)$$

V'_{приз} - объем пирамиды со своим знаком.

Результаты расчета по определению земляных масс квадратных и треугольных призм сводят соответственно в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Ведомость объемов земляных масс, определенных методом квадратных призм

№ квадрата	Рабочие отметки				∑ h _{i-4}	a ² 4	∑h _n ² ∑ h _{i-4}	∑h _n ³ ∑ h _{i-4}	Объемы работ	
	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄					насыпь (+)	выемка (-)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Таблица 6

Ведомость объемов земляных масс, определенных методом треугольных призм

№ труг.	Рабочие отметки				∑ h _{i-4}	a ² 6	h ₁ ³ (h ₁ + h ₂)(h ₁ + h ₃)	h ₁ ³ (h ₁ + h ₂)(h ₁ + h ₃) - h ₁ + h ₂ + h ₃	Объемы работ	
	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄					насыпь (+)	выемка (-)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Примечание. Форма таблиц (табл. 5 и табл. 6) может быть изменена: в табл. 5 могут быть исключены графы 6, 7, 8, 9, представляющие промежуточные значения расчета; в табл. 6 можно исключить графы 5, 6, 7, 8.

9. Определение объемов грунта в откосах

Объемы (m^3) грунта в элементарных фигурах откосов определяют по формулам:

1) для боковых откосов типа трехгранной пирамиды (рис. 10 а)

$$\pm V = \frac{1}{6} m \cdot h_1^2 \cdot L_1, \quad (20)$$

где L_1 — длина трехгранной пирамиды, м;

2) для боковых откосов типа призматоида (рис. 10, б)

$$\pm V = \frac{1}{4} m \cdot (h_1^2 + h_2^2) \cdot L_2, \quad (21)$$

где L_2 — длина призматоида, м;

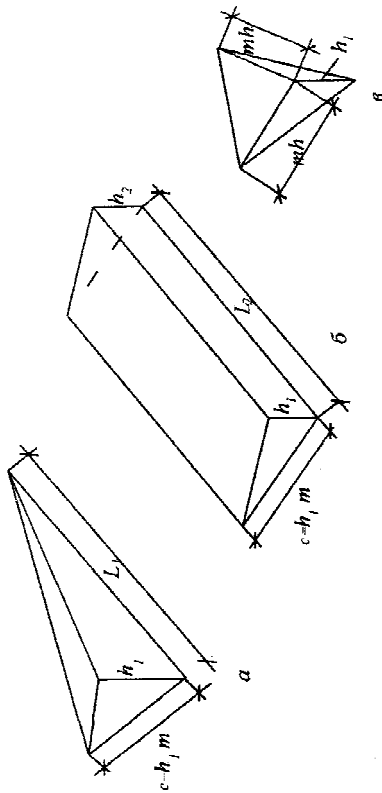


Рис. 10. Фигуры откосов

3) для угловых откосов типа четырехгранной пирамиды (рис. 10, в)

$$\pm V = \frac{1}{6} m^2 \cdot h_1^3, \quad (22)$$

где h_1, h_2 — рабочие отметки в граничных сечениях фигур откосов.

Длину геометрических фигур откосов (L_1 и L_2) замеряют с учетом масштаба по геодезической сетке площадки.

При определении объема откоса призматoidalной фигуры (см. рис. 10, б), в случае перепада значений высотных отметок (h_1 и h_2) более чем на 1,5 м, можно принимать среднее значение коэффициента заложения откоса из величин, предлагаемых условиями табл. 4.

10. Баланс земляных масс

Объемы земляных масс сводят в балансовую ведомость (табл. 7).

Таблица 7

Балансовая ведомость объемов земляных масс

Наименование объемов	Объем грунта, м		Расхождение в объемах ΔV , %
	выемка (-)	насыпь (+)	
1. Основные объемы: 1) объемы чистых призм 2) объемы смешанных призм 2. Дополнительные объемы (в откосах)			
ИТОГО:	$\sum V_v$	$\sum V_n$	
Объем грунта выемки с учетом коэффициента остаточного разрыхления (K_{op})	$\sum V_v \cdot K_{op}$		ΔV , %
Недостаток (избыток) грунта	$-V_p$ (избыток грунта)	$-V_n$ (недостаток грунта)	

Примечание:

1. Увеличение объема грунта в результате разрыхления учитывают только для объемов выемки (срезаемого грунта), последующее уплотнение которого в насыпь не обеспечивает естественной плотности.

2. Показатели разрыхления грунтов и пород в процентах приведены в табл. 8.

Таблица 8

Показатели разрыхления грунтов и пород

Вид грунта	Первоначальное увеличение объема грунта после разрыхления, %	Остаточное разрыхление грунта, %
1	2	3
Глина ломовая	28-32	6-9
Глина мягкая жирная	24-30	4-7
Глина сланцевая	28-32	6-9

1	2	3
Гравийно-галечные грунты	16-20	5-8
Растительный грунт	20-25	3-4
Лесс мягкий	18-24	3-6
Лесс твердый	24-30	4-7
Мергель	33-37	11-15
Олока	33-37	11-15
Песок	10-15	2-5
Разборно-скальные грунты	30-45	15-20
Скальные грунты	45-50	20-30
Солончак и солонец твердые	28-32	5-9
Солончак и солонец мягкие	20-26	3-6
Суглинок легкий и лессовидный	18-24	3-6
Суглинок тяжелый	24-30	5-8
Супесь	12-17	3-5
Торф	24-30	8-10
Чернозем и каштановый грунт	22-28	5-7
Шлак	14-18	8-10

Данные табл. 8 регламентированы сб. ЕНиР Е2В1 «Механизированные и ручные земляные работы».

3. Расхождение в объемах выемки и насыпи определяют сравнивая величины $\sum V_{в} \cdot k_{о,р} \approx \sum V_{н}$

Например, при увеличении объема грунта выемки на 8% следует его величину умножить на коэффициент $k_{о,р} = 1,08$ для того, чтобы получить объем грунта, перемещаемого в насыпь.

4. При условии нулевого баланса ($\sum V_{в} \cdot k_{о,р} \approx \sum V_{н}$), заложенного в расчет. разность в итоговых объемах выемки и насыпи не должна превышать 5%. В противном случае требуется введение поправки Δh в величину H_0 и корректировка расчета.

Величина поправки (м) может быть определена по упрощенному варианту:

$$\Delta h = \frac{V_p}{F}, \quad (23)$$

где V_p - расхождение в объемах насыпи и выемки (т.е. объем недостающего или избыточного грунта), м³;

F - площадь планируемой площадки, м².

Планируемую отметку (H_0) при избытке грунта повышают на величину поправки (Δh), при недостающем грунте на площадке ее соответственно понижают, м:

$$H_0 = H_0 \pm \Delta h. \quad (24)$$

11. Определение средней дальности перемещения грунта при планировке площадки

Средняя дальность перемещения грунта ($l_{ср}$) может быть определена одним из следующих методов:

- 1) графоаналитическим;
- 2) аналитическим (метод статических моментов);
- 3) графическим.

Наиболее точные результаты получают графоаналитическим методом.

11.1. Графоаналитический метод

Графоаналитический метод заключается в построении в двух проекциях картограммы работы по перемещению грунта W по осям x и y . Работа по перемещению грунта из выемки в насыпь графически представлена в виде площадей W_1 и W_2 (рис. 11), аналитически является произведением грунта на среднюю дальность перемещения.

$$W_x = V \cdot l_{ср} \quad (25)$$

$$W_y = V \cdot l_{ср} \quad (26)$$

Для построения фигур W_x и W_y требуется:

- 1) вычертить заданную площадку в произвольном масштабе;
- 2) нанести на площадку сетку квадратов или треугольников, ЛНР;
- 3) по сторонам площадки составить таблицы объемов грунта выемки (В) и насыпи (Н), суммируя объемы по направлению от нулевых точек в системах координат. Объемы суммируются по нарастающим итогам вертикальных колонок для поперечной и продольной сторон площадок;
- 4) координаты сетки должны быть построены в одной масштабной сетке с площадкой. По значениям, полученным в графах таблиц, строятся кривые насыпи и выемки;
- 5) полученные фигуры между кривыми объемов $V_{в}$ и $V_{н}$ разбиваются на элементарные фигуры (площадки) для упрощения подсчета суммарной площади

$$W_x = \sum_{i=1}^n \phi_x, \quad (27)$$

$$W_y = \sum_{i=1}^n \omega_y, \quad (28)$$

б) среднее расстояние перемещения грунта определяется как длина гипотенузы прямоугольного треугольника

$$L_{cp} = \sqrt{l_x^2 + l_y^2}, \quad (29)$$

где

$$l_x = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_x}{\sum_{i=1}^n l'_a}, \quad (30)$$

$$l_y = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_y}{\sum_{i=1}^n l'_a}, \quad (31)$$

$\sum_{i=1}^n l'_a$ — объем выемки (перемещаемого грунта) с учетом остаточного коэффициента разрыхления $k_{o.p.}$. Объем выемки принимается по балансовой ведомости табл. 7.

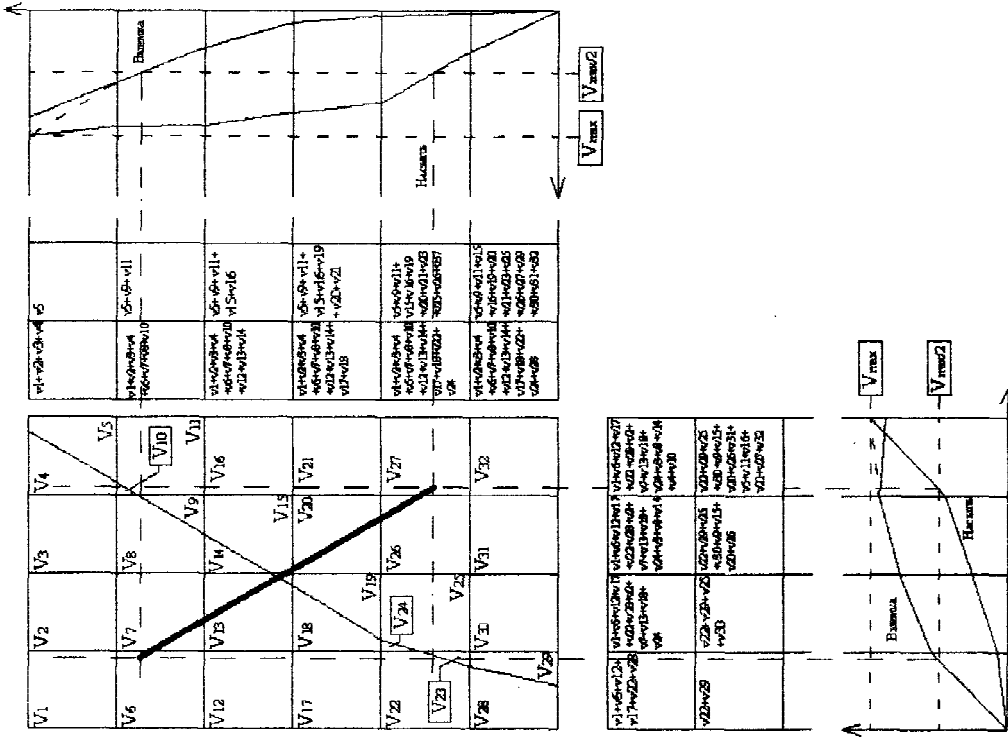


Рис. 11. Схема к методике определения среднего расстояния перемещения грунта графическим методом

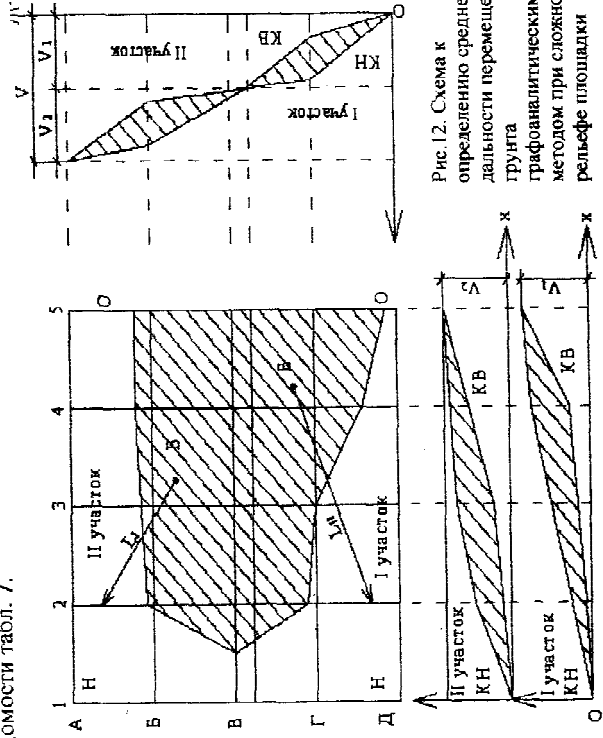


Рис. 12. Схема к определению средней дальности перемещения грунта графическим методом при сложном рельефе площадки

Для определения центра тяжести выемки и насыпи требуется установить ординаты средних значений объемов грунта, затем из данных точек восстановить перпендикуляры до пересечения с построенными кривыми объемов (с кривой объемов «выемки» и с кривой объемов «насыпи»).

Полученные точки на кривых объемов проецируются на поверхность площадки, определяя положение центров тяжести выемки и насыпи. Расстояние между центрами тяжести замеряется масштабной линейкой и представляет собой графически определяемую среднюю дальность перемещения грунта.

Результат графического замера расстояния между центрами выемки и насыпи сравнивают с его аналитической величиной, определяемой по формуле 29, в последующих расчетах используют максимальное значение $L_{\text{ср}}$.

При сложном рельефе площадку делят на участки (рис. 12) из условия примерно равных площадей (фигур) выемки и насыпи.

11.2. Аналитический метод

Аналитический метод основан на вычислении координат центров тяжести выемки и насыпи относительно координатных осей: двух взаимно перпендикулярных сторон геодезической сетки (рис. 13). Координаты центров тяжести вычисляются по формулам:

$$X_B = \frac{\sum_{i=1}^n V_{wi} \cdot X_{wi}}{\sum_{i=1}^n V_{wi}}, \quad (32)$$

$$Y_B = \frac{\sum_{i=1}^n V_{wi} \cdot Y_{wi}}{\sum_{i=1}^n V_{wi}}, \quad (33)$$

$$X_H = \frac{\sum_{i=1}^n V_{hi} \cdot X_{hi}}{\sum_{i=1}^n V_{hi}}, \quad (34)$$

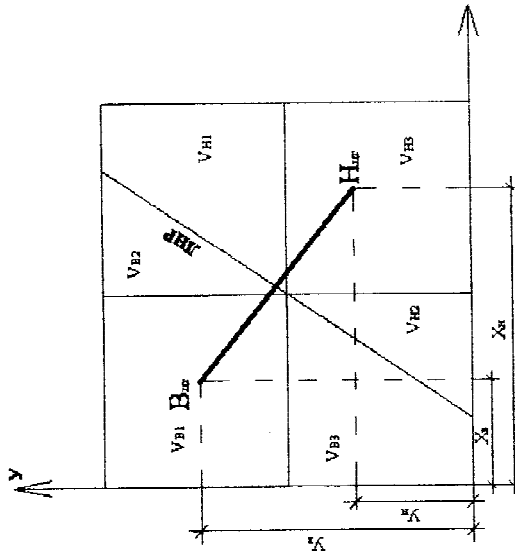


Рис. 13. Схема к определению среднего расстояния перемещения грунта аналитическим методом

$$Y_H = \frac{\sum_{i=1}^n V_{hi} \cdot Y_{hi}}{\sum_{i=1}^n V_{hi}}, \quad (35)$$

где X_B, Y_B, X_H, Y_H — координаты центров тяжести выемки и насыпи на площадке, м;

V_{wi}, V_{hi} — объемы грунта выемок и насыпей отдельных элементарных участков площадки, м³;

$x_{wi}, y_{wi}, x_{hi}, y_{hi}$ — координаты центров тяжести выемок и насыпей отдельных элементарных участков, м.

Средней дальностью перемещения грунта является расстояние между координатами центров тяжести выемки и насыпи, определяемое по формуле:

$$L_{\text{ср}} = \sqrt{(X_B - X_H)^2 + (Y_B - Y_H)^2}, \quad (36)$$

11.3. Графический метод

Графический метод предусматривает построение на сторонах площадки кривых объемов земляных работ отдельно для выемки и насыпи по нарастающим итогам (рис. 14).

На каждой из кривых находят среднюю величину объема работ путем деления каждой ординаты пополам и проецируют его значение на кривую. Проекции полученных точек на поверхность площади определяют положение центра тяжести соответственно для участков выемки и насыпи

12. Определение объема земляных работ при разработке выемок (траншей, котлованов)

При подсчете объемов земляных работ необходимо установить форму выемок, их контуры в плане и разрезе, выделить из них для расчета элементарные геометрические фигуры.

Контур проектируемого здания следует разместить на площади выемки геодезической сетки. Ориентация здания в пространстве может быть принята произвольно.

12.1. Виды и размеры выемок

Траншеи обычно разрабатывают при сетке колонн 6×9 , 6×12 , 6×18 , 6×24 м, при отсутствии подвалов (где b - шаг колонн, м; 9 , 12 , 18 , 24 - ширина пролета здания, м).

Котлованы в целом под здание рекомендуется разрабатывать при сетке колонн 6×6 м, при наличии подвалов и фундаментов под технологическое оборудование.

Ямочные котлованы устраивают при сетке колонн 12×12 м, 12×24 м, под отдельные фундаменты для оборудования или для колонн сетчатого покрытия с шагом 24×24 м, 30×30 м, 60×60 м.

Индивидуальные конструктивные особенности здания определяют выбор выемки здания. К тому же на выбор выемки влияют вид грунта, сезон производства работ, наличие или отсутствие грунтовых вод. Учитываются и такие факторы, как наличие землеройных машин, схемы работы землеройной техники, организация отвалов грунта для обратной засыпки в пазух фундамента.

Выбор выемки (рис. 15) в виде траншей подтверждают проверочной схемой, т.е. построением сечения выемки в масштабе по основным осям здания и определением по схеме величины «рабочего» массива грунта между траншеями по их верхнему уровню. В одних случаях (рис. 15, а) целесообразно разрабатывать траншеи. В других (рис. 15, б) малая величина массива грунта между траншеями увеличивает стесненность производства работ, усложняет движение основных строительных машин, требует использования кранов с большим вылетом стрелы, повышает трудоемкость процесса обратной засыпки пазух фундаментов, следовательно, целесообразно, целесообразна разработка котлована.

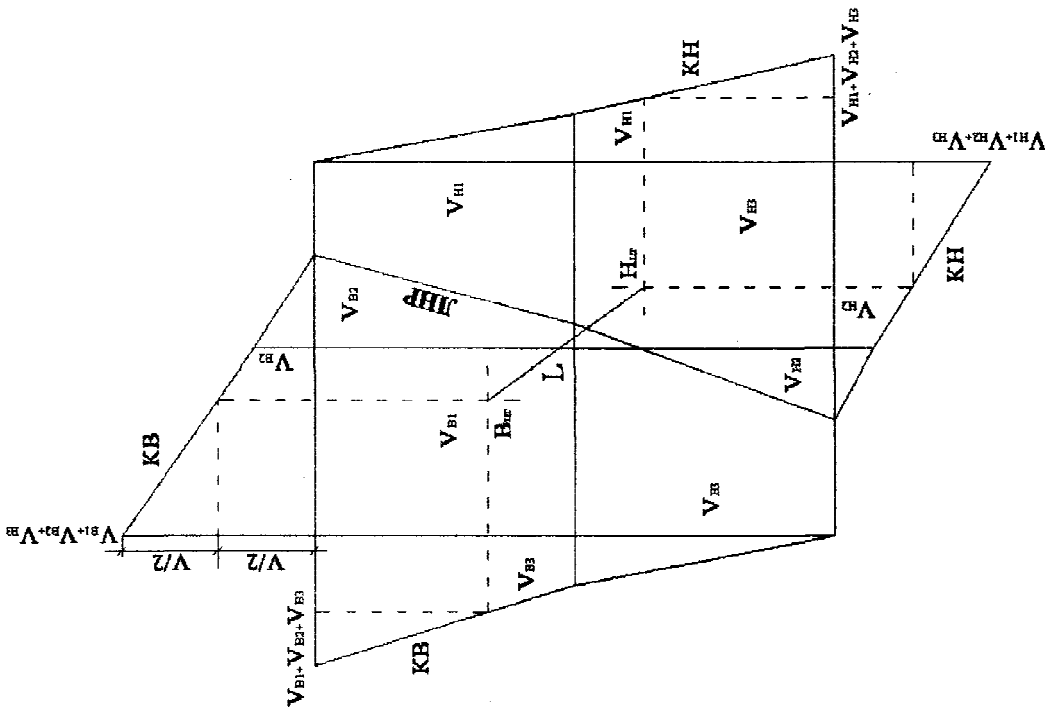


Рис. 14. Схема к определению средней дальности перемещения грунта графическим методом

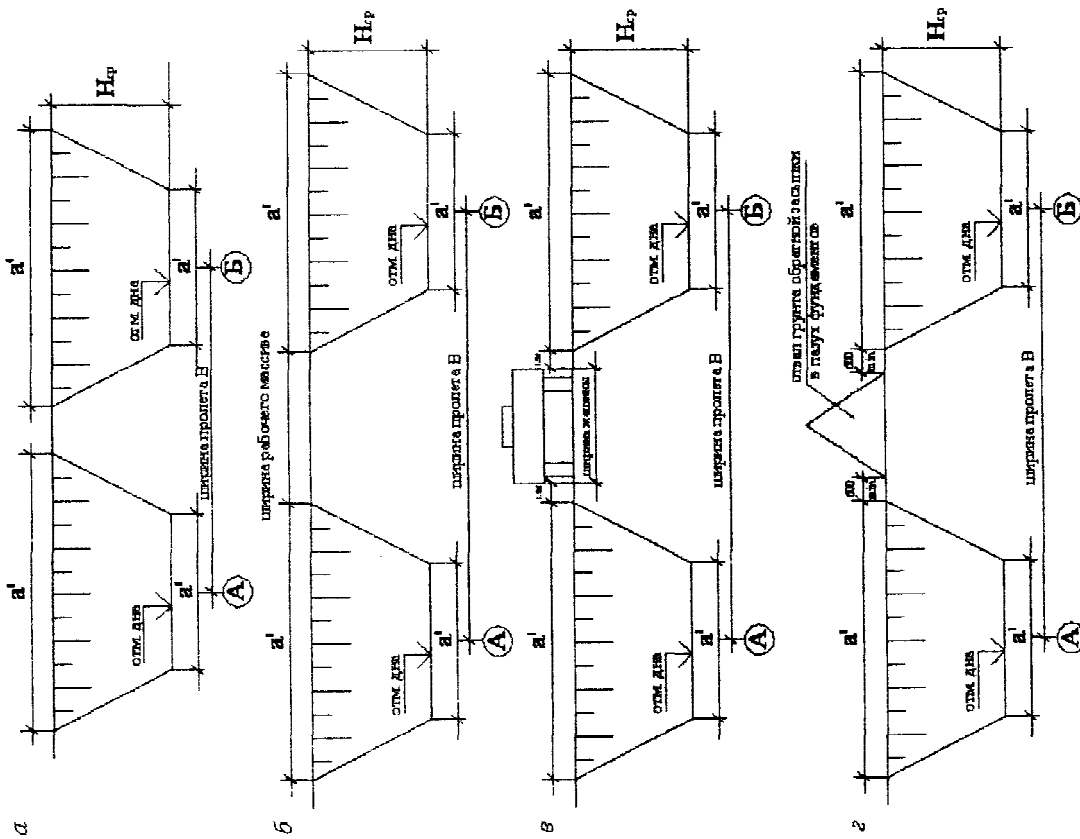


Рис. 15. Проверочная схема для выбора вида выемки: *a* - при наличии «рабочего» массива разрабатываются траншеи, *б* - при отсутствии «рабочего» массива целесообразно разрабатывать котлован, *z* - возможное использование «рабочего» массива для прохода автотранспорта, *z* - возможное использование «рабочего» массива для формирования отвала

Исходными данными для определения геометрических размеров выемки являются: ширина подошвы фундамента a_f ; глубина выемки; коэффициент крутизны откоса m .

Глубина выемки должна превышать глубину промерзания грунта либо быть равной ей (в расчетной работе глубину промерзания грунта принять не менее 1,8 м).

Расчет геометрических объемов выемки можно выполнять по средней величине ее глубины (H_{cp}).

Среднюю глубину выемки рассчитывают в следующей последовательности:

1) определяют красные (планировочные) отметки $H_{кр(эл)}$ контура здания методом «поворота» H_0 (формула 6), либо методом интерполяции. Относительно основания выемки они представляют собой черные высотные отметки $H_{черн}$.

2) определяется среднее значение $H_{кр(эл)}$ контура здания

$$H_{кр(эл)}^{cp} = \frac{\sum H_{кр(эл)} - 4}{4}, \quad (37)$$

3) отметка дна выемки $H_{дна}$ определяется с учетом проектируемой высоты фундамента

$$H_{дна} = H_{кр(эл)}^{min} - h_f, \quad (38)$$

Высота фундамента проектируется произвольно (одно- или двух-ступенчатым) в соответствии с рис. 16.

Желательно, с конструктивной точки зрения, запроектировать высоту фундамента в соотношении 85-93 % от средней глубины выемки;

4) средняя величина выемки определяется по формуле

$$H_{cp} = H_{кр(эл)}^{cp} - H_{дна}, \quad (39)$$

Геометрические размеры траншеи a , a' (рис. 17) определяют по формулам:

$$a = a_f + 2 \cdot 0,5, \quad (40)$$

$$a' = a + 2 \cdot H_{cp} \cdot m, \quad (41)$$

где a_f - ширина подошвы фундамента, м.

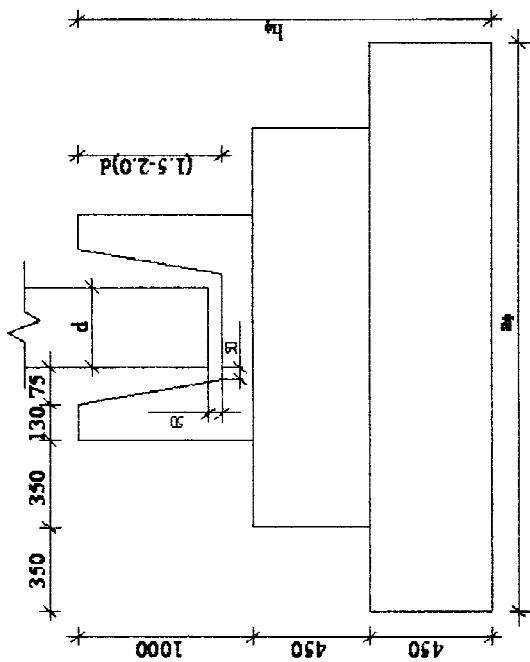


Рис.16. Схема фундамента стального типа

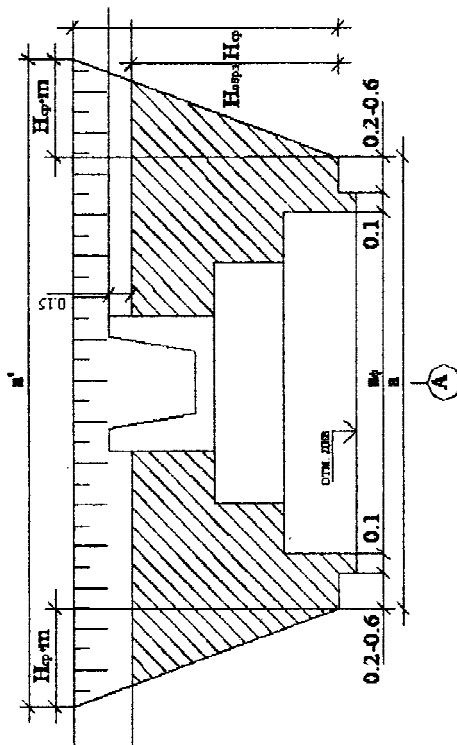


Рис.17. Схема поперечного сечения траншеи

В формуле 40 величина 0,5 м обозначает расстояние, обусловленное требованием обеспечения техники безопасности при производстве работ «нулевого цикла», которое можно менять в пределах от 0,2 до 0,6 м в соответствии с нормами СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты».

Размеры фундамента в плане, в данной расчетной работе, принимаются конструктивно и определяются в зависимости от размеров ширины сечения колонны, например:

- ширину колонн a крайнего ряда можно принять равной 300-350 мм;
- ширину колонн среднего ряда можно принять равной 400 мм.

Так как фундаменты под крайние и средние ряды колонн принимают, как правило, разных размеров по подошве, размеры рядов по крайним и средним основным осям здания будут также различны по ширине.

Геометрические размеры котлована (рис. 18) определяют по формулам:

$$b = B + 2 \cdot \frac{a \cdot \phi}{2} + 2 \cdot 0,5, \quad (42)$$

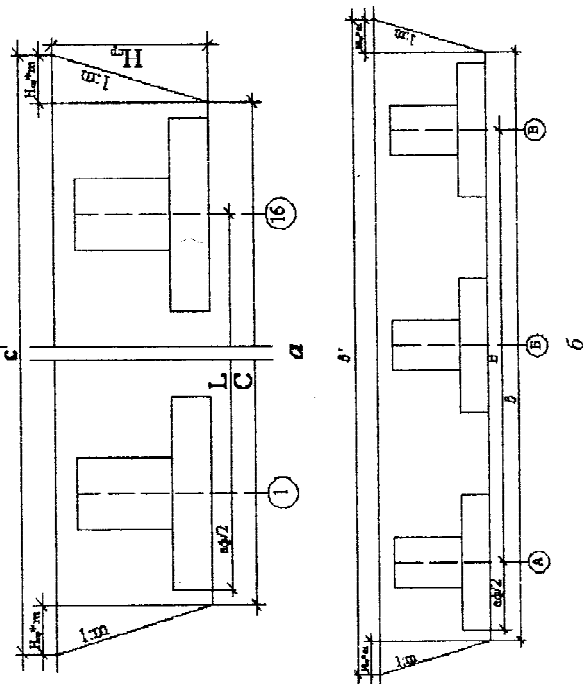


Рис.18. Схемы сечения котлована: а – продольного; б – поперечного

$$(43)$$

$$b' = B + 2 \cdot H_{\text{сп}} \cdot m,$$

$$(44)$$

$$c = L + 2 \cdot \frac{a}{2} + 2 \cdot 0,5,$$

$$(45)$$

$$c' = c + 2 \cdot H_{\text{сп}} \cdot m,$$

где B — ширина здания в осях, м;

L — длина здания в осях, м.

12.2. Определение геометрических объемов выемок

12.2.1. Геометрический объем траншеи, без учета откосов на торцах, может быть определен по одной из формул 46, 47, 48:

$$(46)$$

$$V^{\text{тп}} = F_{\text{сп}} \cdot L_{\text{тп}},$$

$$(47)$$

$$V^{\text{тп}} = \frac{(F_1 + F_2) \cdot L_{\text{тп}}}{2},$$

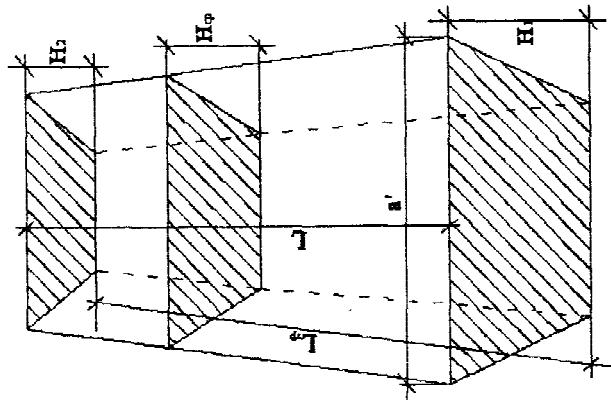


Рис. 19. Схема траншеи с отсеченными откосами на торцах

Формула Мурзо

$$V^{\text{тп}} = \left[F_{\text{сп}} + \frac{m \cdot (H_1 + H_2)^2}{12} \right] \cdot L_{\text{тп}}, \quad (48)$$

где $V^{\text{тп}}$ — геометрический объем траншеи, м³;

F_1, F_2 — площади поперечных сечений в торцах траншеи в вертикальных плоскостях, м² (см. рис. 18);

$F_{\text{сп}}$ — средняя площадь поперечного сечения траншеи в вертикальной плоскости, м²;

H_1, H_2 — глубина траншеи на торцах, м.

Примечания:

1. Формулу (46) и (47) используют при условии ($H_1 \sim H_2 < 0,5$ м).

2. Формула (48) используется при условии ($H_1 \sim H_2 > 0,5$ м).

Торец траншеи, отсеченный вертикальной плоскостью, состоит из одного призматоида и двух угловых пирамид (рис. 20).

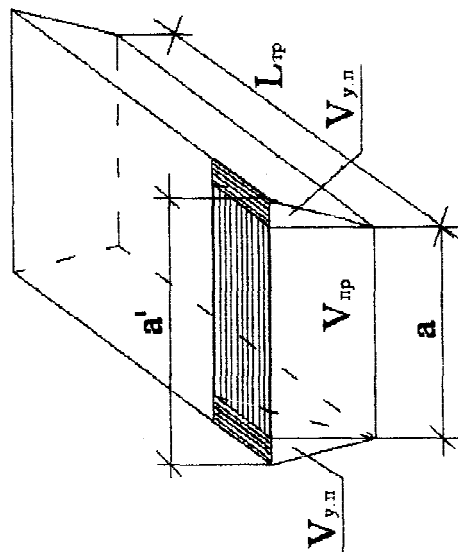


Рис. 20. Схема деления откосов траншеи на торцах на элементарные фигуры

Объем призматоида определяется по формуле:

$$V^{пр} = F^{пр} \cdot a, \quad (49)$$

где $F^{пр}$ — площадь сечения призматоида, м (формула 50);
 a — длина призматоида, соответствующая ширине траншеи по низу
 выемки, м.

Площадь сечения призматоида определяется по формуле:

$$F^{пр} = \frac{H_{(2)}^2 \cdot m}{2}, \quad (50)$$

где $H_{(2)}$ можно заменить на усредненное значение $H_{ср}$.

Объем грунта в угловых пирамидах можно вычислить по формуле

$$V_{у.п} = \frac{H_{(2)}^3 \cdot m^2}{3}, \quad (51)$$

Общий геометрический объем откоса в одном торце траншеи $V^{п.тр}$ определяется суммой объемов одного призматоида и двух угловых пирамид:

$$V^{п.тр} = V^{пр} + 2 \cdot V_{у.п}, \quad (52)$$

Суммарный геометрический объем траншеи $V_{геом}^{тр}$ с учетом объемов обоих откосов на ее торцах определяется суммой:

$$V_{геом}^{тр} = V^{тр} + 2 \cdot V^{п.тр}, \quad (53)$$

12.2.2. Геометрический объем котлована с учетом объемов всех откосов определяется по формуле:

$$V_{геом}^{к} = \frac{H_{ср} \cdot [(2 \cdot b + b') \cdot c + (2 \cdot b' + b) \cdot c']}{6}, \quad (54)$$

Обозначения в формуле (53) приведены на рис. 21, а также указаны на рис. 18.

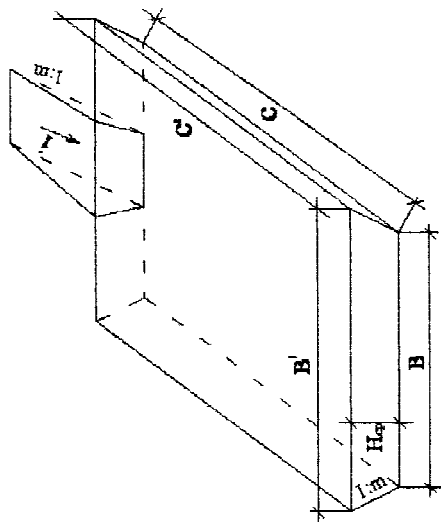


Рис. 21. Схема котлована с вьездной траншеей

12.2.3. При необходимости проектирования вьездной траншеи в котлован ее геометрический объем определяется по формуле:

$$V_{геом}^{вьезд.тр} = m' \cdot \left(\frac{d \cdot H^2}{2} + \frac{H^3 \cdot m}{3} \right), \quad (55)$$

где d — ширина вьездной траншеи в котлован (при одностороннем движении автотранспорта $d = 3,5$ м), м;

m' — величина заложения дна вьездной траншеи, принять равной 10;

H — глубина котлована на участке примыкания к нему вьездной траншеи, м.

12.2.4. Определение геометрического объема приямков под фундаментами

С целью сохранения структуры грунта в основании выемки, грунт не дорабатывается экскаватором до проектной отметки. Допустимые значения недобора грунта $h_{н.тр}$ в основании выемки приведены в табл. 9.

Таблица 9

Допустимые значения недобора грунта при доработке оснований выемок, см

Вместимость ковша, м ³	Рабочее оборудование		
	Прямая лопата	Обратная лопата	Драглайн
	Механические экскаваторы		
0,4	5	10	15
0,65	10	15	20
0,8-1,25	10	20	25
1,5-2,5	15	27	30
3-5	20	—	30
	Гидравлические экскаваторы		
0,5	5	5	—
0,65-1,0	7	10	—
1,25-1,6	7	10	—
2-3,2	10	12	—

Примечание: т.к. оптимальный вариант землеройной техники в расчетной работе еще не определен, $h_{н.гр}$ принято конструктивно равной 0,1 м.

Приямки разрабатываются вручную, размеры приямков в плане определяются размерами сборных железобетонных фундаментов по подшиве с учетом допуска на степень свободы при монтаже. Допуск принимается равным 0,2 м.

Геометрический объем приямков под фундаменты определяется по формуле:

$$V_{\text{геом}}^{\text{необ}} = F_{\text{гр}} \cdot h_{н.гр} \cdot n, \quad (56)$$

где $h_{н.гр}$ - недобор грунта при разработке экскаватором;

$F_{\text{гр}}$ - площадь приямка, м (с учетом допуска на степень свободы при монтаже 0,1 м от каждой грани фундамента, т.е. $h_{\phi} + 0,2$);

n - количество приямков под однотипные фундаменты.

12.2.5. Определение геометрического объема грунта обратной засыпки

Геометрический объем обратной засыпки рассчитывают в следующей последовательности:

1) определяют высоту обратной засыпки $H_{\text{обр.з}}$, м. по формуле:

$$H_{\text{обр.з}} = h_{\phi} - 0,15, \quad (57)$$

т.е. обратная засыпка выполняется ниже верхнего обреза фундамента на 0,15 м;

2) рассчитывают геометрический объем выемки $V_{\text{геом}}^{\text{выемки}}$ с учетом высоты $H_{\text{обр.з}}$ (см. формулы 46-53) для траншей и формулу (54) для котлована);

3) из геометрического объема выемки (с учетом $H_{\text{обр.з}}$) вычитают суммарный объем железобетонных элементов $V_{\text{с.ж.б.}}$, входящих в объем обратной засыпки:

$$V_{\text{геом}}^{\text{обр.з}} = V_{\text{геом}}^{\text{выемка}} - \sum V_{\text{с.ж.б.}}, \quad (58)$$

Объем железобетонных элементов определяют по данным спецификации на сборные железобетонные конструкции либо рассчитывают.

12.3. Определение физических объемов грунта

Объемы грунта, в случае их разработки из состояния естественной плотности, определяют с учетом коэффициента первоначального разрыхления $k_{н.р}$ (для суглеси $k_{н.р}$ принимают в пределах 1,12—1,17 по табл. 8), т.е. объем грунта $V_{\text{гр}}$ при разработке траншей (котлованов и вездных траншей), приямков под фундаменты определяется по формуле:

$$V_{\text{гр}} = V_{\text{геом}} \cdot k_{н.р}, \quad (59)$$

Объем грунта обратной засыпки ($V_{\text{гр}}^{\text{обр.з}}$) в пазухи фундамента определяют уменьшением его геометрического объема на коэффициент остаточного разрыхления грунта $k_{о.р}$ (см. табл. 8), т.к. при механическом уплотнении грунта его первоначальная плотность не достигается

$$V_{\text{гр}}^{\text{обр.з}} = \frac{V_{\text{гр}}^{\text{обр.з}}}{k_{о.р}}, \quad (60)$$

Результаты расчетов объемов фунда при разработке земляных масс сводят в табл. 10.

Таблица 10

Сводная таблица объемов земляных масс, м³

Наименование работ	Геом. объем, м ³	Увеличение грунта при разработке		Объем грунта, м ³
		величина первоначального разрыхления грунта	величина остаточного разрыхления грунта	
Срез растительного слоя		—	—	
Разработка грунта в траншее по оси		$k_{п.р}$	—	
То же по оси		$k_{п.р}$	—	
Разработка грунта в котловане в осях		$k_{п.р}$	—	
Устройство въездной траншеи в котловане		$k_{п.р}$	—	
Разработка недобора грунта в приямках под фундаменты		$k_{п.р}$	—	
Обратная засыпка грунта в паузах фундамента		—	$k_{о.р}$	
Объем лишнего грунта на вывоз (с учетом растительного слоя)		$k_{п.р}$	—	

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ ПЛАНИРОВКЕ ТЕРРИТОРИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ	3
1. Особенности разбивки геодезической сетки при вертикальной планировке площадки	5
2. Определение черных отметок вершин геодезической сетки	7
3. Определение средней планировочной отметки	8
4. Определение красных (проектных) отметок	10
5. Определение рабочих отметок	11
6. Построение линии нулевых работ (ЛНР)	12
7. Построение откосов площадки	13
8. Определение объемов земляных работ	15
9. Определение объемов грунта в откосах	20
10. Баланс земляных масс	21
11. Определение средней дальности перемещения грунта при планировке площадки	23
12. Определение объема земляных работ при разработке выемок (траншей, котлованов)	29

Составитель Бочкарева Т.М.

Лицензия ЛР № 020370

Подписано в печать 05.12.2005. Формат 60х90/16.
Набор компьютерный. Объем 2,75 п.л.
Тираж 50. Заказ 3/2006-р.

Отпечатано с авторского макета лабораторией ИСТ СТФ ПГТУ