

В. М. Галузин

**Разработка котлованов в мягких грунтах
Методические указания**

Санкт-Петербург
2001

УДК 624.132.3

В. М. Галузин. Разработка котлованов в мягких грунтах. Методические указания. Кафедра технологии, организации и экономики строительства. Инженерно-строительный факультет СПбГТУ. с, 7 илл.

В работе рассмотрены основные технологические процессы при разработке котлована в грунте I – III категории, изложены принципы выбора строительных машин и формулы для определения их производительности. В указаниях не рассматриваются мероприятия по водоотводу, креплению откосов и другие сопутствующие работы.

Предназначена для студентов инженерно-строительного факультета, выполняющих курсовые проекты по технологии земляных работ или соответствующий раздел дипломного проекта.

Изложение методических указаний в электронной версии выполнил А. Г. Вегера.

Библиогр.: 1 назв.

1. Определение объёма котлована.

Для определения объёма котлована можно использовать различные формулы, наиболее простой и удобной представляется следующая:

$$V_k = \frac{H}{6} [a \times b + a_1 \times b_1 + (a + a_1)(b + b_1)] \quad [m^3]$$

Где V_k – объём котлована, m^3 ;

H – глубина котлована, м;

a и b – размеры дна котлована, м;

a_1 и b_1 – размеры котлована поверху, м.

Определение размеров котлована поверху a_1 и b_1 иллюстрирует рис. 1. Размеры котлована понизу a и b и глубина котлована H обычно известны.

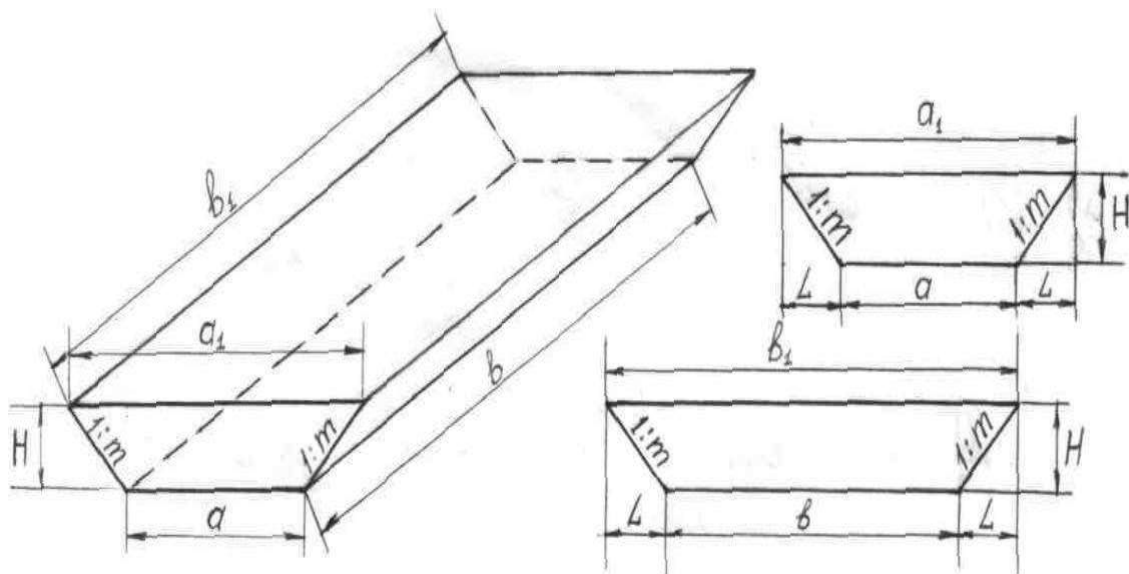


Рис 1. К определению объёма котлована.

Так как по определению коэффициента заложения откоса:

$$m = L/H, \text{ то } L = mH,$$

$$\text{тогда } a_1 = a + 2mH, \quad b_1 = b + 2mH.$$

Величина коэффициента заложения откоса « m » может быть принята из таблицы 1.

Коэффициент заложения откоса котлована в мягких необводнённых грунтах

Таблица 1

Грунт	Глубина котлована H , м		
	2...4	5...6	7...8
гравий, песок	1,0	1,1	1,2
Супесь	0,8	0,9	1,0
Суглинок	0,6	0,7	0,8
Глина	0,4	0,5	0,6

Временные котлованы (на строительный сезон) глубиной до 2 м в связных сухих грунтах можно устраивать с вертикальными стенками.

Очевидно, что объём растительного слоя

$$V_{pc} = a_1 b_1 h_{pc} \quad [m^3]$$

где h_{pc} – толщина растительного слоя, м

Объём грунта, подлежащего разработке

$$V_p = V_k - V_{pc} \text{ [м}^3\text{]}$$

Не следует определять объёмы V_k , V_p и V_{pc} с точностью, которую дают вычисления на калькуляторе. Например, результат вычислений

$$V_k = 94248,624 \text{ м}^3 \text{ запишем } V_k = 94250 \text{ м}^3$$

$$\text{соответственно } 137652,08 \text{ м}^3 - 137650 \text{ м}^3$$

$$5738,84 \text{ м}^3 - 5740 \text{ м}^3 \text{ и т.п.}$$

2. Снятие растительного слоя.

При использовании экскаваторов для разработки грунта котлована снятие растительного слоя обычно выполняют бульдозеры 10 т тяги. Работу целесообразно осуществить по схеме, показанной на рис. 2.

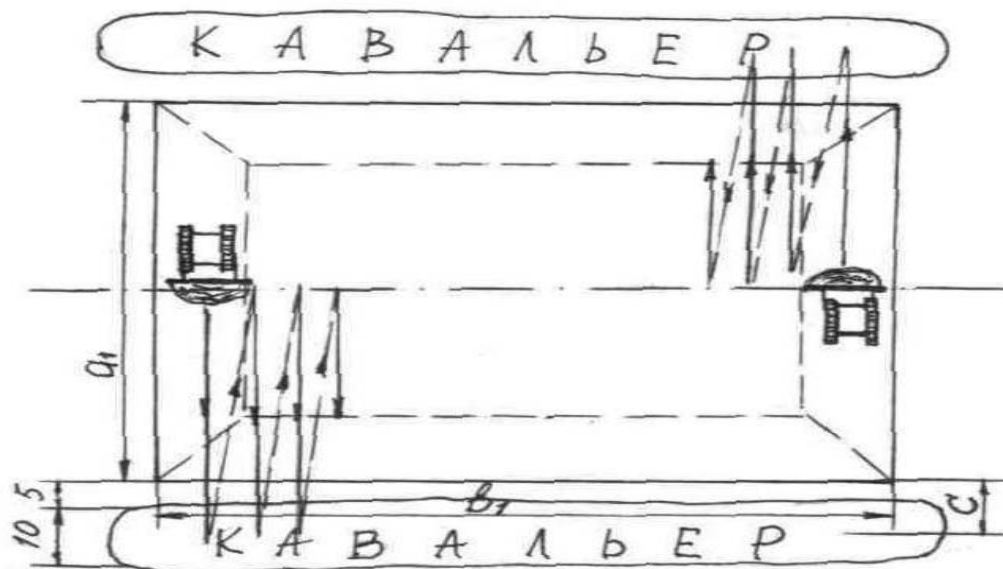


Рис 2. Схема снятия растительного слоя бульдозером.

Бульдозер разрабатывает грунт, передвигаясь челочно от продольной оси котлована до оси кавальера. После удаления растительного слоя с половины площади $a_1 \times b_1$ в кавальер он аналогично разрабатывает вторую часть площади в другой кавальер. При необходимости ускорения работы по такой же схеме работают одновременно два бульдозера.

Расстояние перемещения грунта изменяется от $a_1/2 + c$ при резании и наборе грунтовой призмы у продольной оси котлована до $a_1/4 + c$. Расстояние c , включающее временную берму и половину ширины кавальера, можно принять равным $5+5=10$ м.

Производительность бульдозера определяем по формуле:

$$\Pi_{\text{ч}} = q \frac{3600}{t_{\text{ц}}} * K_{\text{п}} * \frac{1}{K_{\text{р}}} * K_{\text{в}} \text{ [м}^3\text{/ч]},$$

где q – объём грунтовой призмы, м^3 ;

$t_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с;

$K_{\text{п}}$ – коэффициент потерь грунта;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления грунта;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент использования рабочего времени.

При расчётах производительности машин следует использовать исходную информацию, технические характеристики (см. Приложение), а также материалы пособия [1].

3. Разработка грунта котлована экскаватором.

3.1. Выбор экскаватора, принципиальная схема разработки котлована.

Разработку котлованов под промышленные и гражданские сооружения обычно осуществляют в один ярус экскаватором обратная или прямая лопата с гидравлическим приводом на гусеничном (предпочтительно) или колёсном ходу. При глубине котлована 2...6 м возможно использование обратной лопаты, при глубине 7...10 м следует применять экскаватор прямая лопата.

При выборе марки экскаватора с ковшом определённого объёма следует учитывать, что высота забоя (т. е. глубина котлована) должна быть такой, чтобы обеспечивалось наполнение ковша за одно черпанье; минимальная высота забоя для экскаваторов различных размерных групп дана в таблице 2.

Наименьшая высота забоя строительных экскаваторов обратная и прямая лопата.

Таблица 2.

Группа разрабатываемого грунта	Объём ковша экскаватора, м ³			
	0,4...0,5	0,65...0,8	1,0...1,25	1,6...3,2
	Высота забоя, м			
I, II	2,0	3,0	3,0	3,5
III	2,5	3,5	4,0	4,5
IV	3,5	5,0	5,5	6,0

Вместе с тем высота и крутизна откосов забоя должны быть такими, чтобы обеспечивать безопасность работы экскаватора в забое (исключалась возможность обрушения откоса) и его высокая производительность (минимальная длительность цикла). Как показывает опыт применения гидравлических строительных экскаваторов и расчёты размеров забоев, эти условия выполняются в том случае, если высота разрабатываемого уступа H_p составляет определённую часть паспортной характеристики экскаватора $H_{\text{копmax}}$ – наибольшей глубины (высоты) копания, т. е.

$$H_p = \beta H_{\text{копmax}}$$

Для обратной лопаты при разработке любых мягких грунтов (I-III категории) величина коэффициента высоты забоя β может быть принята равной 0,7 и тогда формула имеет вид

$$H_p = 0,7 H_{\text{копmax}}$$

Зная расчётную глубину котлована $H_p = H - h_{pC}$, можно определить требуемую величину параметра

$$H_{\text{копmax}} = H_p / 0,7$$

И принять экскаватор, соответствующий требованиям как по минимальной (таблица 2), так и по максимальной высоте забоя. Очевидно, что расчётная величина $H_{\text{копmax}}$ должна быть равна или немного меньше соответствующей характеристике принятого экскаватора (таблица 1 Приложения).

Для прямой лопаты величина β должна быть различной при разработке связных и несвязных грунтов. При разработке связного грунта обязательно соприкосновение зубьев ковша с грунтом на всём пути резанья, образование зубьев ковша с грунтом на всём пути резанья, образование “kozyрька” не допускается из-за возможности его обрушения в виде блоков. При разработке несвязного грунта выполнение этого условия необязательно, так как при черпании грунта из нижней части откоса забоя грунт осыпается и откос забоя вылаживается. Коэффициент высоты забоя может быть принят в соответствии с таблицей 3.

Коэффициент высоты забоя экскаваторов обратная и прямая лопата "β".

Таблица 3.

Грунт	Для экскаватора обратная лопата	Для экскаватора прямая лопата
Глина	0,7	0,8
Суглинок		0,9
Супесь		1,0
Песок, гравий		1,1

Выбор экскаватора прямая лопата осуществляется так же, как и для обратной лопаты:

$$H_{\text{коптах}} = H_p / \beta \text{ и т.д. (см табл. 2 Приложения).}$$

Разработка котлована начинается с проходки пионерной (разрезной) траншеи лобовым забоем по длинной оси котлована (рис. 3). Последующая разработка осуществляется одинаковыми боковыми забоями в обе стороны от разрезной траншеи. Если при расчётах окажется, что количество боковых забоев нечётно, ось пионерной траншеи сместится в сторону от оси котлована.

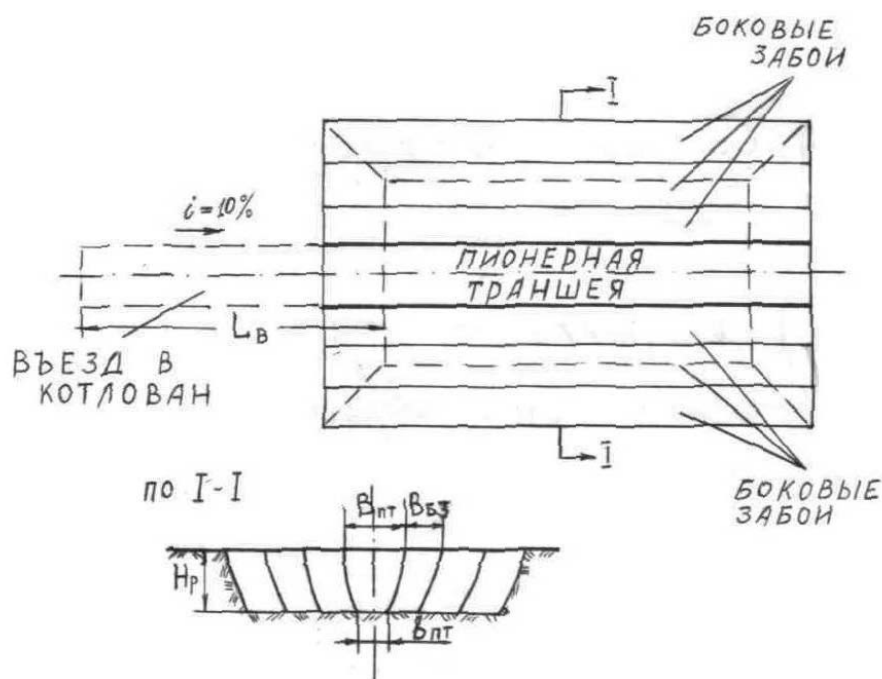


Рис 3. Схема экскаваторных проходок при разработке котлована.

Наклонный въезд в котлован (обычно с уклоном $i=10\%$) экскаватор обратная лопата разрабатывает в том случае, если в соответствии со схемой организации работ в котлован предусмотрен въезд автотранспорта, колёсных или гусеничных машин. Для прямой лопаты устройство наклонного входа в котлован является первой и обязательной стадией его разработки: экскаватор начинает разрабатывать грунт ниже отметки стояния, постепенно заглубляясь до отметки H_p в конце наклонного входа – на границе подошвы котлована. Очевидно, что разработка грунта должна быть начата от будущей подошвы котлована на расстоянии $L=H_p/0,1$. Учитывая трудность разработки грунта ниже уровня стояния (особенно грунта III группы), можно выполнить проходку въезда в котлован до глубины 6 м обратной лопатой, а дальнейшую проходку въезда и разработку инженерной траншеи необходимой ширины – основным экскаватором прямая лопата. При необходимости дополнительный объём разрабатываемого грунта легко определить, зная величины длины въезда $L_{\text{в}}$, его ширины (равной ширине пионерной траншеи понизу $b_{\text{пт}}$), отметки дна котлована H_p и коэффициента заложения откоса "m".

3.2. Разработка котлована экскаватором обратная лопата.

Разработка пионерной траншеи начинается от меньшей стороны котлована (a_1); экскаватор, двигаясь назад, от забоя, разрабатывает и подаёт грунт в автосамосвалы, располагающиеся с двух сторон от траншеи. Размеры пионерной траншеи обычно принимают (рис. 4)

- ширина понизу $b_{пт} = 1,5 \dots 2,0$ м;
- ширина поверху $B_{пт} = b_{пт} + 2mH_p$.

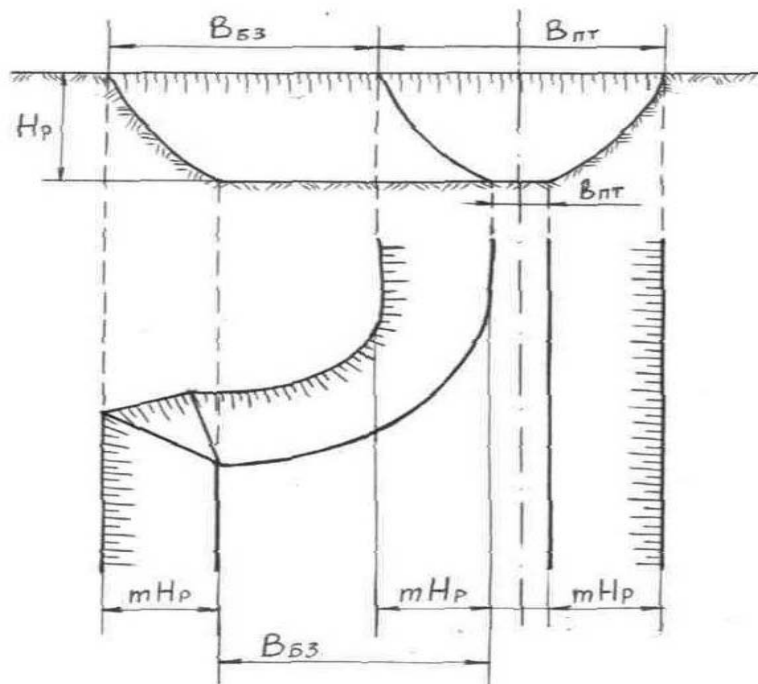


Рис 4. Пионерная траншея и боковой забой обратной лопаты.

Дальнейшую разработку котлована ведут открытыми боковыми проходками, когда ковш при разработке первого бокового забоя не затрагивает противоположный откос пионерной траншеи. Основания временных откосов боковых проходок принимаем равными mH_p , ширину бокового забоя поверху и понизу можно принять одинаковыми –

$$B_{БЗ} = 1,3 * R_{\text{коп max}}$$

где $R_{\text{коп max}}$ – наибольший радиус копания

Возможна реализация и других схем разработки котлована. Например, экскаватор разрабатывает пионерную траншею вдоль одной из длинных сторон котлована, а затем последовательными боковыми проходками разрабатывает остальной массив грунта.

Рассмотрим пример работы экскаватора обратная лопата. Требуется разработать котлован с размерами $a=50$ м, $b=80$ м, глубиной $H=6$ м в супесчаном грунте; толщина растительного слоя $h_{рс} = 0,3$ м ($H_p = 6,0 - 0,3 = 5,7$ м). Принимаем $m=0,9$ м и определяем размер меньшей стороны котлована поверху a_1 .

$$a_1 = a + 2mH_p = 50 + 2 * 0,9 * 5,7 = 60,3 \text{ м}$$

Определим $H_{\text{коп max}} = H_p / 0,7 = 5,7 / 0,7 = 8,1$ м.

По приложению (таблица 1) принимаем экскаватор ЭО-5122 с объёмом ковша $q=1,25 \text{ м}^3$, $H_{\text{коп max}}=8,6$ м, $R_{\text{коп max}}=11,8$ м.

Определим размеры пионерной траншеи

$$V_{\text{ПТ}} = 2 \text{ м}, V_{\text{ПТ}} = b_{\text{ПТ}} + 2mH_p = 2 + 2 * 0,9 * 5,7 = 12,3 \text{ м}$$

$$\text{Ширина бокового забоя } V_{\text{БЗ}} = 1,3 R_{\text{коп max}} = 1,3 * 11,8 = 15,3 \text{ м.}$$

Определим количество боковых забоев

$$n_{\text{бз}} = \frac{a_1 - V_{\text{ПТ}}}{V_{\text{БЗ}}} = \frac{60,3 - 12,3}{15,3} = 3 \text{ забоя} + 2,1 \text{ м}$$

Остаток в 2,1 м может быть распределён на три боковых забоя, т.е.

$$V_{\text{БЗ}} = 15,3 + 2,1/3 = 16,0 \text{ м}$$

Таким образом, разработка котлована будет осуществляться пионерной траншеей с размерами поверху $V_{\text{ПТ}} = 12,3 \text{ м}$ и понизу 2 м, и тремя боковыми забоями с размерами поверху и понизу $V_{\text{БЗ}} = 16,0 \text{ м}$ (см. рис. 5).

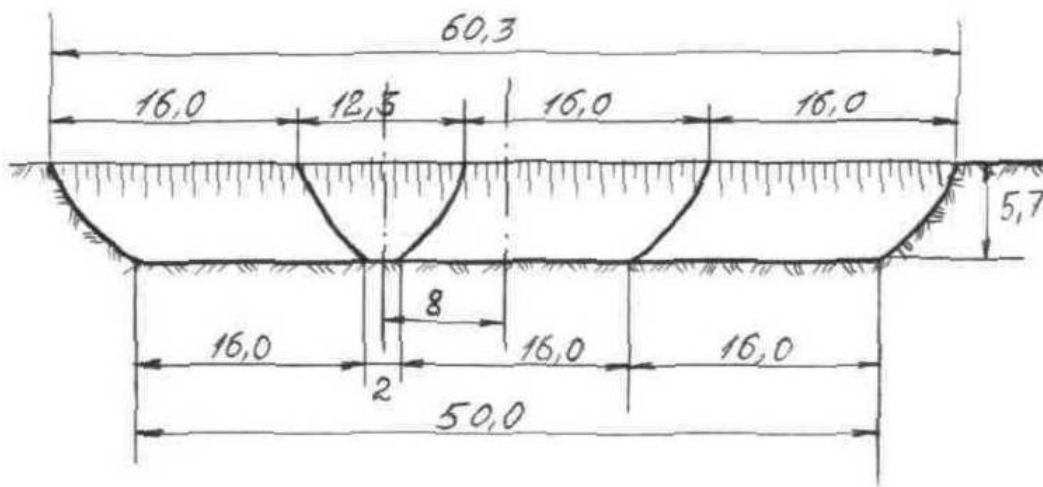


Рис 5. Пример разбивки котлована на забои обратной лопаты.

Простой расчёт позволяет определить, что ось пионерной траншеи будет сдвинута относительно оси котлована на расстояние

$$c = 30,2 - (16,0 + 6,2) = 8 \text{ м.}$$

(или понизу - $25 - 17 = 8 \text{ м}$)

Остаток при определении количества боковых забоев (2,1 м) может быть также отнесён к ширине пионерной траншеи поверху, которая в таком случае будет ещё более “открытой”, с более пологими откосами. При значительной величине остатка (более половины $V_{\text{БЗ}}$) можно увеличить количество боковых забоев на один, в таком случае ширина каждого бокового забоя $V_{\text{БЗ}}$ будут несколько меньше расчётной величины $1,3 R_{\text{коп max}}$, что не вызовет каких-либо трудностей при работе экскаватора; очевидно, что отклонение ширины бокового забоя на $0,1 R_{\text{коп max}}$, т.е. в пределах $V_{\text{БЗ}} = (1,2 \dots 1,4) R_{\text{коп max}}$ вполне допустимо.

3.3. Разработка котлована экскаватором прямой лопатой.

Пионерную траншею, являющуюся продолжением наклонного входа в котлован, можно разрабатывать как узким (ширина забоя поверху $V_{\text{ПТ}} < 1,5 R_{\text{коп max}}$), так и нормальным ($V_{\text{ПТ}} = [(1,6 \dots 1,9) R_{\text{коп max}}]$) лобовым забоем. Обычно используют нормальный забой, при котором облегчается маневрирование и установка под нагрузку автосамосвалов, угол поворота при разгрузке ковша, как и при работе в боковом забое, равен 90° , что позволяет считать производительность экскаватора при разработке лобового и бокового забоев одинаковой.

Ширину пионерной траншеи понизу принимают равной двум радиусам копания на уровне стояния

$$B_{пт} = 2R_{ст}$$

Расчёты показывают, что при выполнении изложенных выше рекомендаций по размерам пионерной траншеи мы получаем очень крутые откосы ($m = 0,4 \dots 0,5$), что недопустимо по условиям безопасности работ.

Поэтому, принимая $b_{пт} = 2R_{ст}$, следует вместе с тем разрабатывать максимально широкую траншею поверху и принять

$$B_{пт} = 2R_{ст} \text{ (для всех грунтов),}$$

допуская возможность оползня верхней части откоса в процессе разработки грунта.

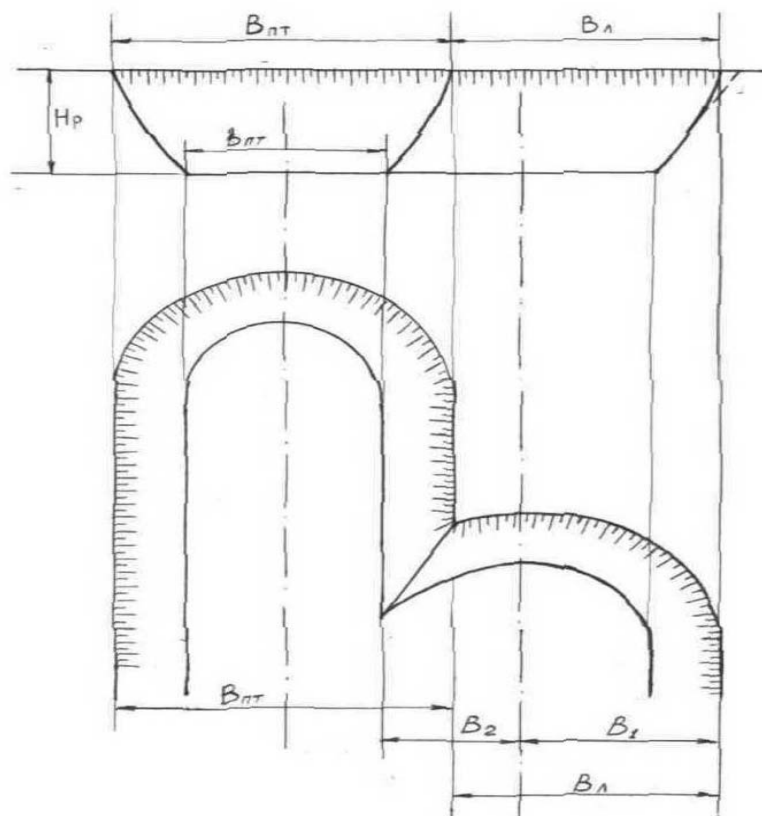


Рис 6. Пионерная траншея и боковой забой прямой лопаты.

Размеры бокового забоя (рис. 6):

B_1 – расстояние от оси движения экскаватора до бровки откоса забоя

$$B_1 = R_{коп \max} \text{ (для несвязного грунта)}$$

$$B_1 = 0,8 R_{коп \max} \text{ (для связного грунта)}$$

B_2 – расстояние от оси движения экскаватора до подошвы забоя

$$B_2 = 0,7 R_{коп \max} \text{ (для всех грунтов)}$$

$B_1 + B_2$ – ширина забоя понизу

$$B_1 + B_2 = 1,7 R_{коп \max} \text{ (для несвязного грунта)}$$

$$B_1 + B_2 = 1,5 R_{коп \max} \text{ (для связного грунта)}$$

$B_л$ – ширина ленты – ширина забоя поверху

$$B_л = B_1 + B_2 - m H_р = 1,7 R_{коп \max} - m H_р \text{ (для несвязного грунта)}$$

$$B_л = B_1 + B_2 - m H_р = 1,5 R_{коп \max} - m H_р \text{ (для связного грунта)}$$

Определяем количество боковых забоев

$$n_{\text{БЗ}} = \frac{a_1 - B_{\text{ПТ}}}{B_{\text{л}}}$$

Небольшой остаток (как и в примере для обратной лопаты) можно распределить и на пионерную траншею $B_{\text{ПТ}}$, сделав более пологими откосы несвязного грунта, и на боковые забои, увеличив размер B_1 . Если остаток велик и до целой величины $B_{\text{л}}$ не хватает 1...3 м, целесообразно уменьшить пропорционально размер B_1 всех боковых забоев и получить в результате количество боковых забоев $n_{\text{БЗ}}+1$.

Рассмотрим пример работы экскаватора прямой лопатой. Требуется разработать котлован с размерами $a=60$ м, $b=100$ м, глубиной 8 м в суглинистом грунте, толщина растительного слоя $h_{\text{рс}}=0,2$ м, тогда $H_{\text{р}} = 8,0-0,2=7,8$ м. Принимаем $m=0,8$ и определяем размер меньшей стороны котлована.

$$a_1 = a + 2 m H_{\text{р}} = 60+2*0,8*7,8 = 60 + 12,5 = 72,5 \text{ м}$$

Определяем наибольшую высоту копания

$$H_{\text{коп max}} = H_{\text{р}} / 0,9 = 7,8/0,9 = 8,7 \text{ м}$$

По приложению (таблица 2) принимаем экскаватор ЭО-5122 с объёмом ковша $q = 2,0 \text{ м}^3$, $H_{\text{коп max}} = 9,6$ м, $R_{\text{коп max}} = 8,9$ м, $R_{\text{ст}} = 4,7$ м.

Определим размеры пионерной траншеи

$$b_{\text{ПТ}} = 2*4,7 = 9,4 \text{ м}$$

$$B_{\text{ПТ}} = 2*8,9 = 17,8 \text{ м}$$

Определим размеры бокового забоя

$$B_1 = 0,8 * 8,9 = 7,1 \text{ м}$$

$$B_2 = 0,7 * 8,9 = 6,2 \text{ м}$$

$$B_1 + B_2 = 13,3 \text{ м}$$

$$B_{\text{л}} = B_1 + B_2 - mH_{\text{р}} = 13,3 - 0,8*7,8 = 13,3 - 6,24 = 7,0 \text{ м}$$

Количество боковых забоев

$$n_{\text{БЗ}} = \frac{a_1 - B_{\text{ПТ}}}{B_{\text{л}}} = \frac{72,5 - 17,8}{7,0} = 7 \text{ забоев} + 5,7 \text{ м}$$

Очевидно, что следует принять восемь забоев, при этом ширина забоя поверху $B_{\text{л}}$ будет меньше расчётной на 0,2 м.

$$B_{\text{л}} = 54,7/8 = 6,8 \text{ м (см. рис. 7)}$$

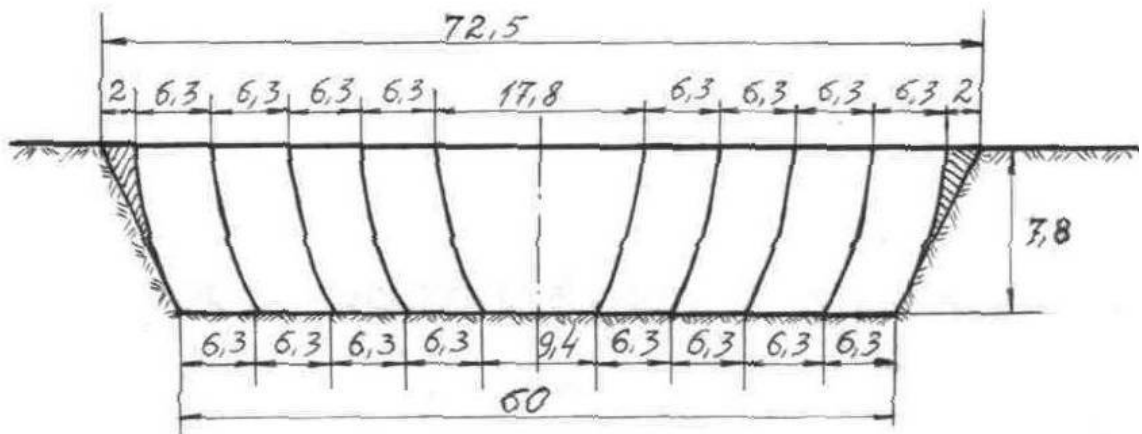


Рис 7. Пример разбивки котлована на забои прямой лопаты.

Определим толщину “ленты” понизу $V_{л}^H$ без учёта заложения откоса бокового забоя mH_p

$$V_{л}^H = \frac{60 - 9,4}{8} = 6,3 \text{ м}$$

Разница на каждом боковом забое поверху и понизу 0,5 м и, соответственно, невязка в $0,5 \cdot 8 = 4$ м показывает, что в верхней части котлована мы будем иметь недоборы грунта по 2 м с каждой стороны. Следует также иметь в виду, что при определении размера котлована поверху a_1 мы приняли коэффициент заложения откоса (борта) котлована $m = 0,8$ м, реальная же крутизна временных откосов забоев может отличаться от расчётной. Расхождение сумм размеров забоев и размеров котлована на рис. 7 объясняется округлением сотых долей метра при вычислениях.

3.4. Определение производительности экскаватора, подбор автосамосвалов.

Производительность экскаватора определяют по формуле

$$P_{ч}^э = q \frac{3600}{t_{ц}} * K_H * \frac{1}{K_P} * K_B \quad [M^3 / ч],$$

где q – объём ковша, m^3 ;
 $t_{ц}$ – длительность цикла экскаватора, с;
 K_H – коэффициент наполнения ковша;
 K_P – коэффициент разрыхления грунта;
 K_B – коэффициент использования рабочего времени.

При расчётах используют технические характеристики выбранного экскаватора (см. Приложение, табл. 1 и 2) и данные пособия [1].

Количество автосамосвалов для обеспечения бесперебойной работы экскаватора определяем следующим образом:

- по таблице 17 пособия [1] намечаем грузоподъёмность автосамосвала, а по таблице 3 Приложения выбираем автосамосвал определённой марки;
- по таблице 13 пособия [1] определяем объём грунта в кузове автосамосвала;
- производительность автосамосвала определяем по формуле

$$P_{ч}^э = q \frac{60}{t_{ц}} * K_B \quad [M^3 / ч],$$

где q – объём грунта, перевозимый автосамосвалом за один цикл (рейс), m^3 ;
 $t_{ц}$ – длительность цикла (рейса), мин;
 K_B – коэффициент использования рабочего времени.

Длительность цикла и значение K_B определяем по §13 пособия [1] исходя из реальной ситуации производства работ,

- определяем количество автосамосвалов N_{ac} по формуле

$$N_{ac} = \frac{P_{ч}^э_{экск}}{P_{ч}^э_{ac}},$$

где $P_{ч}^э_{экск}$ – часовая эксплуатационная производительность экскаватора;
 $P_{ч}^э_{ac}$ – то же, автосамосвала.

При получении дробной величины результат всегда округляем в большую сторону. Например, если $N_{ac} = 3,2$, принимаем 4 автосамосвала.

4. Планировка дна котлована.

Планировка дна котлована необходима для устранения недобора грунта после экскавации и выравнивания слоя грунта перед уплотнением. После планировки бульдозер (или автогрейдер) должен оставить такой слой грунта, который после уплотнения обеспечил бы получение проектной отметки дна котлована. (Обычно экскаваторы с объёмом ковша 1,25 ... 2,5 м³ дают недобор на площадке 5...10 см).

Для планировки можно использовать обычный бульдозер 10 т тяги с универсальным отвалом, который устанавливается с небольшим перекосом. При планировке бульдозер может перемещаться по спирали, от откоса к оси котлована, или поступательно челночно (вперёд – рабочий ход, назад – холостой ход). Вид траектории перемещения машины следует учесть при определении времени цикла, а также при назначении величины коэффициента использования рабочего времени в ходе определения производительности по формуле

$$\Pi_{\text{ч}}^{\text{э}} = F \frac{60}{t_{\text{ц}}} * K_{\text{в}} \quad [\text{м}^3 / \text{ч}],$$

где $F = L (B - 0,5)$ – площадь, планируемая за один проход бульдозера, м²;

L – длина гона (захватки) – длина дна котлована, т.е. $L = b$, м;

B – длина отвала бульдозера, м (см. таблицу 4 Приложения);

0,5 – перекрытие захваток и уменьшение ширины хода из-за перекоса отвала, м;

$t_{\text{ц}}$ – длительность цикла, мин. Можно принять $t_{\text{ц}} = 2L/V$, мин, обычно бульдозер выполняет планировку со средней, транспортной скоростью;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент использования рабочего времени, который должен учесть потери на повороты и холостой ход, рекомендуем принять $K_{\text{в}} = 0,75 - 0,80$.

5. Уплотнение дна котлована.

Заключительным этапом работ по устройству котлована является уплотнение его дна. Для уплотнения связного грунта обычно используют пневмошинные самоходные катки, для уплотнения несвязного – вибрационные гладковальцевые или комбинированные (вибровалец + пневматики) самоходные катки. Так как при экскавации и планировке плотная природная структура грунта нарушается на глубину не более 20 см, считаем, что именно такой толщины должен быть уплотняемый слой.

Для расчётов используем формулу для определения производительности катка:

$$\Pi_{\text{ч}}^{\text{э}} = \frac{1000 * V_{\text{ср}} * h * (B - b)}{n} * K_{\text{в}} \quad [\text{м}^3 / \text{ч}],$$

где $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения катка при уплотнении, км/ч;

h – толщина уплотнённого слоя (0,2 м);

B – ширина полосы уплотнения, м;

b – перекрытие полос при уплотнении (0,15 – 0,20 м);

n – количество проходов по одному следу ($n = 2...4$);

$K_{\text{в}}$ – коэффициент использования рабочего времени ($K_{\text{в}} = 0,85$).

Расчёты можно упростить, убрав из формулы величину “ h ”, и определить производительность катка в м²/ч. Тогда затраты времени на операцию будут определяться не путём деления объёма $a*b*0,2$ [м³] на $\Pi_{\text{ч}}^{\text{э}}$ [м³ / ч], а путём деления площади дна котлована $a*b$ на $\Pi_{\text{ч}}^{\text{э}}$ [м² / ч].

Для расчётов используем технические характеристики катков (таблицы 5 и 6 Приложения) и материалы пособия [1].

6. Построение календарного графика производства работ.

При разработке календарного графика следует исходить из заданных сроков сооружения котлована. В летнее время целесообразно вести работы в течение 6 дней в неделю в 2 смены по 8 часов. Тогда в месяц мы имеем порядка 50 рабочих смен. Форма для построения календарного графика может иметь следующие графы:

- наименование работ;
- объём работ;
- использование машины и их количество;
- количество машино-смен;
- рабочие дни, каждый рабочий день на графике должен состоять из принятого количества рабочих смен (1,2 или 3).

В соответствии с рассмотренными работами будем иметь пять строк на графике, пять сплошных линий в графе “рабочие дни”. Рассмотрим особенности их заполнения.

- а) снятие растительного слоя бульдозером;
определяем сменную производительность бульдозера

$$П_{см}^э = П_{ч}^э * 8,$$

зная объём растительного слоя V_{PC} , определяем требуемое для его разработки количество машино-смен

$$N_{маш-см}^Б = \frac{V_{PC}}{П_{см}^э}$$

Если очевидно, что из общего срока работ операция по снятию растительного слоя занимает слишком много времени (более 10...15 %), можно принять два бульдозера, которые будут работать симметрично и одновременно. Количество машино-смен при этом не изменится, но сроки выполнения операции (в графе “рабочие дни”) уменьшатся в 2 раза. Можно уточнить количество бульдозеров и после определения продолжительности других работ.

а) разработка грунта котлована экскаватором; подход к оформлению этой операции аналогичен – определяем $П_{см}^э = П_{ч}^э * 8$, зная объём грунта, определяем требуемое для его разработки количество машино-смен

$$N_{маш-см}^{ЭК} = \frac{V_P}{П_{см}^э}$$

Выше уже указывалось, что если условия производства работ при разработке пионерной траншеи и бокового забоя одинаковы (нормальный лобовой забой, угол поворота экскаватора на разгрузку ковша в обоих забоях 90°), расчёты ведутся на весь объём работ. Если принят узкий лобовой ($B_{пт} < 1,5 R_{копмакс}$) для экскаватора прямая лопата, то расчёты времени работы экскаватора и автосамосвалов следует вести отдельно для объёма грунта, разрабатываемого при лобовой проходке, и остального объёма котлована, разрабатываемого боковыми проходками. Очевидно, что объём пионерной траншеи

$$V_{пт} = \frac{B_{пт} + b_{пт}}{2} * H_p * b \quad [M^3],$$

При необходимости можно также учесть и объём грунта наклонного входа в котлован.

Если объём котлована большой и продолжительность работы экскаватора не обеспечивает его разработку в заданные сроки (даже при использовании двух бульдозеров на снятии

растительного слоя), следует использовать два экскаватора. При использовании обратной лопаты второй экскаватор может начать разработку пионерной траншеи с другого конца одновременно с первым, после чего каждый экскаватор разрабатывает боковые забои с разных сторон пионерной траншеи.

При использовании прямой лопаты второй экскаватор включается в разработку бокового забоя после устройства въезда и проходки части пионерной траншеи первым экскаватором.

При любом варианте работ потребное количество машино-смен работы экскаватора не меняется, сокращаются лишь сроки выполнения работы (графа “рабочие дни”);

в) транспортировка грунта автосамосвалами; так как известно количество автосамосвалов, обслуживающих экскаватор, количество машино-смен автосамосвалов в любом варианте (1 или 2 экскаватора) равно произведению количества машино-смен экскаватора (экскаваторов) на количество обслуживающих его самосвалов

$$N_{\text{маш-см}}^{\text{ас}} = N_{\text{маш-см}}^{\text{экс}} * N_{\text{ас}}$$

Например, экскаватор разрабатывает котлован за 40 смен, его работу обеспечивают 4 самосвала, тогда

$$N_{\text{маш-см}}^{\text{ас}} = 40 * 4 = 160 \text{ машино-смен}$$

Очевидно, что линия “транспортировка грунта автосамосвалами” в графе “рабочие дни” будет идентична линии “разработка грунта котлована экскаватором”.

г) планировка дна котлована;

как уже было указано, расчёт можно вести не на объём уплотнённого грунта, а на площадь дна котлована $S_{\text{к}} = a * b$ [м²].

Определяем сменную производительность

$$\Pi_{\text{см}}^{\text{э}} = \Pi_{\text{ч}}^{\text{э}} * 8,$$

Определяем требуемое количество машино-смен катка

$$N_{\text{маш-см}}^{\text{упл}} = \frac{S_{\text{к}}}{\Pi_{\text{см}}^{\text{э}}} \quad [\text{машино-смен}]$$

При составлении календарного графика следует также учесть следующее:

- если продолжительность работы машины на данной операции невелика (планировка, уплотнение), то на графике показываем одну или половину машино-смены, в графе “количество машино-смен” указываем точно 0,8 маш-см, 0,3 маш-см и т.п.;

- в графе “используемые машины и их количество” следует писать подробно, например: “Бульдозер ДЗ-18, 2 шт.” (при снятии растительного слоя), “Экскаватор прямая лопата ЭО-4121 с $q = 1,0 \text{ м}^3$, 1 шт” (на разработке грунта), “Автосамосвалы МАЗ 503 г/п 8 т, 4 шт” (на транспортировке грунта), “Бульдозер ДЗ-18, 1 шт.” (на планировке), “Пневмошинный самоходный каток ДУ-29, 1 шт” (на уплотнении).

Литература

1. В. М. Галузин, В. И. Телешев. Выбор строительных машин для производства земляных работ, учебное пособие. Л., 1987, 83 с.

Приложение

Технические характеристики строительных машин

Таблица 1.

Технические характеристики экскаваторов обратная лопата

Показатели	ЭО-4321			ЭО-4121		ЭО-5122			ЭО-6122	
	Объём ковша, м ³	0,4	0,65	0,8	0,65	1,0	1,25	1,6	2,0	1,6
Наибольший радиус копания R _{коп max} , м	9,8	9,1	8,4	9,4	9,8	11,8	11,3	10,7	12,4	11,1
Наибольшая глубина копания H _{коп max} , м	6,5	6,0	5,5	7,1	6,0	8,6	8,0	7,3	8,5	8,3
Наибольшая высота выгрузки H _{выг max} , м	4,9	4,6	4,3	5,2	5,0	5,9	5,8	5,5	10,0	7,3
Радиус выгрузки при наибольшей высоте выгрузки, R _{выг} , м	7,3	6,7	6,0	5,4	4,8	8,8	8,2	7,3	7,5	7,0
Продолжительность цикла, с	17			21		25			29	
Масса, т	19,8			22,4		36,6			56,4	

Таблица 2.

Технические характеристики экскаваторов прямая лопата

Показатели	ЭО-3122	ЭО-4321	ЭО-4121		ЭО-5122		ЭО-6122	
	Объём ковша, м ³	0,65	0,8	0,65	1,0	1,6	2,0	2,5
Наибольший радиус копания R _{коп max} , м	6,8	7,5	7,5		8,9		10,2	
Радиус копания на уровне стоянки R _{ст} , м	3,4	2,5	4,0		4,7		5,4	
Наибольшая высота копания H _{коп max} , м	7,3	7,9	8,0		9,6		10,7	
Наибольшая высота выгрузки H _{выг max} , м	4,1	5,7	5,0		5,1		6,0	
Радиус выгрузки при наибольшей высоте выгрузки, R _{выг} , м	4,6	4,9	4,6		4,6		5,7	
Продолжительность цикла, с	14	15	17		20		23	
Масса, т	14,0	19,0	23,0		36,0		56,6	

Таблица 3.

Технические характеристики автосамосвалов

Показатели	ЗИЛ-ММЗ 555	МАЗ-503А	КаМАЗ-5511	КраЗ-256Б	Татра-148	БелАЗ-540А
Грузоподъёмность, т	5,2	8,0	10,0	12,0	15,0	27,0
Погрузочная высота, м	1,9	2,4	2,2	2,4	2,7	3,6
Габариты, м						
-длина	5,5	5,8	7,1	8,1	7,2	7,3
-ширина	2,4	2,5	2,5	2,7	2,5	3,5
-высота	2,5	3,3	2,7	2,9	2,7	3,6
Полная масса, т	9,9	15,4	18,9	23,2	26,0	48,0

Таблица 4.

Технические характеристики бульдозеров.

Показатели	ДЗ-28	ДЗ-109	ДЗ-35С	ДЗ-34С
Наибольшее тяговое усилие, тс	10	10	15	25
Размеры отвала, м				
-длина	3,9	4,1	3,6	4,5
-высота	1,0	1,2	1,2	1,4
Наибольший подъём отвала над опорной поверхностью гусениц, м	1,05	1,03	1,10	0,9
Скорость перемещения, км/ч				
-при копании грунта	2,4	3,6	2,9	2,3
-при транспортировке и раскладке грунта	6,4	8,8	8,7	9,0
-при холостом пробеге	10,0	12,2	12,0	19,0
Масса, т	16,3	17,0	18,7	31,3

Таблица 5.

Технические характеристики пневмошинных катков

Показатели	ДУ-39А	ДУ-16В	ДУ-21	ДУ-31А	ДУ-29
Тип катка	Прицеп	П/Прицеп	П/Прицеп	Самох.	Самох.
Толщина уплотняемого слоя, см	35	35	45	25	35
Ширина уплотняемой полосы, см	260	260	268	190	222
Скорость движения, км/ч	до 5	до 15	до 15	до 20	до 23
Количество проходов по одному следу	4...10	4...10	4...10	4...8	4...8
Масса, т	25,0	36,0	56,7	16,0	30,0

Таблица 6.

Технические характеристики вибрационных катков

Показатели	ДУ-62	ДУ-57А	ДУ-10А	ДУ-25	ДУ-47Б
Тип катка	П/Прицеп	Комбин.	Самох.	Самох.	Самох.
Толщина уплотняемого слоя, см	70	80	20	30	35
Ширина уплотняемой полосы, см	220	240	85	100	140
Скорость движения, км/ч	до 4,5	до 9,0	1,8; 3,0	1,8; 6,6	1,7; 6,8
Количество проходов по одному следу	2...6	2...4	3...6	3...6	3...6
Масса, т	13,0	20,5	1,8	4,3	8,0