**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра строительных технологий

Ю. В. ШАФИЕВА, О. Е. ПАНТЮХОВ, Т. В. ЯШИНА

ПРОИЗВОДСТВО ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

Пособие

Гомель 2026

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра строительных технологий

Ю. В. ШАФИЕВА, О. Е. ПАНТЮХОВ, Т. В. ЯШИНА

ПРОИЗВОДСТВО ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

Рекомендовано учебно-методическим объединением в сфере высшего образования Республики Беларусь по образованию в области строительства и архитектуры для обучающихся по специальности 7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений» профилизации «Промышленное и гражданское строительство» в качестве пособия

Гомель 2026

УДК 69.05:624.13/.15(075.8)
ББК 38.623
Ш30

Р е ц е н з е н т ы: кафедра теплогазоснабжения и вентиляции Белорусского национального технического университета (зав. кафедрой – канд. техн. наук *А. Н. Пехота*);
первый заместитель генерального директора ОАО «СМТ № 27» *Ю. М. Ашурко*

Шафиева, Ю. В.

Ш30 Производство земляных работ на строительной площадке : пособие / Ю. В. Шафиева, О. Е. Пантюхов, Т. В. Яшина ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2026. – 115 с.
ISBN 978-985-891-274-1

Излагаются методика проектирования производства работ при планировке строительной площадки, отрывке котлованов и траншей, методика выбора средств механизации для производства земляных работ и расчет их основных параметров. Приведены примеры решения задач, возникающих в процессе организационно-технологического проектирования производства механизированных земляных работ.

Предназначено для студентов специальности 7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений» дневной и заочной форм обучения. Может использоваться как при изучении дисциплины «Технология строительного производства» в процессе практических занятий и курсового проектирования, так и при выполнении дипломного проекта.

УДК 69.05:624.13/.15(075.8)
ББК 38.623

ISBN 978-985-891-274-1

© Шафиева Ю. В., Пантюхов О. Е., Яшина Т. В., 2026
© Оформление. БелГУТ, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 6
1 ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РАБОТЫ. КАРТОГРАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ МАСС 8
1.1 Определение объемов земляных работ при планировке площадки 8
1.1.1 Определение черных меток 8
1.1.2 Определение красных отметок 11
1.1.3 Определение рабочих отметок и установление контура земляных масс 18
1.1.4 Подсчет объемов земляных работ 19
1.2 Составление баланса земляных масс и картограммы объемов земляных работ 23
1.3 Распределение земляных масс 25
1.3.1 Построение исходной матрицы 26
1.3.2 Составление оптимального плана распределения земляных масс с использованием методов линейного программирования 30
2 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БУЛЬДОЗЕРНЫХ И СКРЕПЕРНЫХ РАБОТ 36
2.1 Определение средневзвешенной дальности возки сбалансированного грунта .. 36
2.2 Выбор машин для производства земляных работ 37
2.3 Определение расчетной траектории движения землеройно-транспортных машин 38
2.4 Определение количества ведущих машин для земляных работ по планировке площадки 42
2.5 Определение количества вспомогательных машин и состава бригад для земляных работ по планировке площадки 46
2.6 Разработка операционной технологической карты работы землеройно-транспортных машин 51
2.7 Проектирование производства подготовительных работ 52
3 ТЕХНОЛОГИЯ ВЕДЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОТЛОВАНОВ И ТРАНШЕЙ 55
3.1 Определение объемов земляных масс при отрывке котлована под здание 55
3.2 Определение объемов земляных масс при отрывке траншеи для коммуникаций 58
3.3 Выбор экскаватора для производства земляных работ 58
3.3.1 Разработка котлованов 58
3.3.2 Разработка траншей 60
3.4 Осушение котлованов и траншей 60
3.5 Выбор вида проходок и проектирование забоя экскаватора 61
3.5.1 Экскаватор с рабочим оборудованием прямой лопаты 61
3.5.2 Экскаватор с рабочим оборудованием драглайна 68
3.5.3 Экскаватор с рабочим оборудованием обратной лопаты 74
3.6 Определение эксплуатационной производительности экскаватора 78
3.7 Выбор и определение количества транспортных средств для перемещения грунта 80
3.8 Выбор и расчет средств механизации для обратной засыпки и уплотнения грунта 83

3.9 Технико-экономические показатели работы экскаваторного комплекта машин 86
3.10 Основные требования техники безопасности при разработке котлованов и траншей 87
3.11 Составление операционной технологической карты на разработку котлована или траншеи 88
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 89
ПРИЛОЖЕНИЯ
А Общий план участка местности 91
Б Варианты строящихся зданий 91
В Наибольшая допустимая крутизна откосов котлованов и траншей 94
Г Пример определения средневзвешенных расстояний транспортировки грунта .. 95
Д Рациональная область применения землеройных и землеройно- транспортных машин 96
Е Справочные данные для определения производительности машин 98
Ж Основные свойства грунта 99
И Исходные данные для определения тяговых характеристик машин 100
К Исходные данные для определения технико-экономических показателей машин 102
Л Технические характеристики экскаваторов 105
М Технические характеристики транспортных машин 110
Н Группы грунта по трудности разработки 111
П Потребность в основных эксплуатационных материалах для работы комплекта машин 113
Р Образец выполнения работы ..... вкл.

ВВЕДЕНИЕ

Переработка грунта в строительстве ведется с целью изменения природного рельефа местности, подготовки оснований под здания и сооружения. В ходе выполнения основных процессов грунт разрабатывают, перемещают и укладывают, в результате чего создают земляное сооружение проектных параметров. Непосредственному выполнению этих процессов, как правило, предшествуют или сопутствуют подготовительные и вспомогательные процессы. Весь этот комплекс мероприятий составляет земляные работы. Рациональная организация выполнения комплексного технологического процесса при вертикальной планировке площадки и возведении земляного сооружения, обеспечивающая достижение высоких экономических и качественных показателей при соблюдении заданных сроков и проектных параметров, является весьма актуальной.

Настоящее пособие имеет целью оказать помощь студентам в решении конкретных инженерных задач, связанных с разработкой элементов организационно-технологической документации на ведение бульдозерных, скреперных и экскаваторных работ. В пособии изложены основные теоретические положения, последовательность, методика выполнения и примеры технических расчетов из разделов курсового проекта. В приложениях приведены справочные материалы, что, ввиду ограниченного количества специальной литературы, позволяет значительно оптимизировать затраты времени на принятие технически и экономически обоснованных решений при выполнении курсового проекта и повысить качество профессиональной подготовки студентов.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Курсовой проект по производству земляных работ на строительной площадке состоит из трех разделов:

1 Технология ведения механизированных земляных работ при вертикальной планировке площадки.

2 Технология производства экскаваторных работ при разработке котлованов и траншей.

3 Производство земляных работ в сложных гидрогеологических, климатических и других условиях.

Первый раздел курсового проекта включает разработку элементов организационно-технологической документации на производство бульдозерных и скреперных работ уровня технологических карт. Задачи раздела:

а) определить объемы земляных работ при планировке площадки;

б) установить способ производства бульдозерных и скреперных работ и произвести распределение земляных масс с использованием методов линейного программирования;

в) выбрать вид, характер проходок и траекторию движения ведущих землеройно-транспортных машин;

г) установить необходимый состав и количество землеройно-транспортных и вспомогательных машин;

д) выбрать марки основных строительных машин и установить состав бригад для ведения основных и вспомогательных работ;

е) определить сроки и выполнить календарное планирование производства работ;

ж) определить основные технико-экономические показатели процесса разработки грунта.

Во втором разделе проекта необходимо:

а) определить объемы земляных работ при отрывке котлована под здание и траншей для коммуникаций;

б) установить способ производства экскаваторных работ и вид рабочего оборудования;

в) выбрать марки основных строительных машин, установить необходимый состав и количество землеройных и вспомогательных машин; определить состав бригад для ведения работ;

г) запроектировать технологическую схему производства экскаваторных работ;

д) определить сроки производства работ;

е) разработать меры по охране труда при производстве земляных работ на строительной площадке.

Третий раздел курсового проекта предполагает выбор и разработку технологической схемы ведения земляных работ в неблагоприятных гидрогеологических и других природных условиях площадки строительства и определение основных ее параметров.

В разрабатываемом проекте не рассматриваются работы по устройству опорной геодезической сети, временных дорог, площадок складирования, временных инженерных сетей, бытовых и подсобных помещений.

1 ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РАБОТЫ. КАРТОГРАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ МАСС

Вертикальная планировка *заключается в перемещении грунтовых масс для приведения площадки в состояние, обеспечивающее возможность производства дальнейших строительных работ, устройства постоянных и временных дорог и коммуникаций, создание складского хозяйства и т. п.* Вертикальной планировке предшествует снятие плодородного слоя грунта. Растительный грунт перемещают бульдозерами в кавальеры для последующего его использования при благоустройстве территории.

Расчистка территории, вертикальная планировка площадки строительства, отвод поверхностных вод, понижение уровня грунтовых вод, создание геодезической разбивочной основы – таков в общем виде **состав процесса инженерной подготовки территории к строительству**, выполняемой в подготовительный период строительства [5, 8].

Планировочные работы разделяются на два основных типа:

– планировочные работы по сглаживанию микрорельефа;

– крупные планировочные работы.

К первому типу относятся работы на участках с преобладающим ровным рельефом, имеющим, однако, частичные неровности в виде мелких канав, ям, воронок, окопов, мелких бугорков и т. п., а также работы по планировке грунта, отсыпаемого транспортирующими и землеройными машинами и механизмами. Бульдозеры не предназначаются для тщательной отделки планируемых площадей. Точность производимой ими планировки лежит в пределах допуска ±5–8 см.

Крупные планировочные работы, связанные со срезкой холмов, засыпкой оврагов, больших траншей, котлованов, старых русел рек и каналов и т. п., *обычно выполняются совместной работой скреперов и бульдозеров* [15].

1.1 Определение объемов земляных работ при планировке площадки

1.1.1 Определение черных меток

В соответствии с заданием на курсовой проект необходимо произвести планировку площадки на участке местности, ограниченном прямыми линиями, пересекающимися в углах с заданными координатами (рисунок 1.1, *а*). На прилагаемом к заданию плане местности (приложение А) нанесены го-

ризонтали и сетка координат. Заданный участок местности срисовывается близко к оригиналу с учетом выбранного масштаба.

На листе чертежей (приложение Р) исходный план участка местности приводится в левом верхнем углу в масштабе (1:1000–1:5000). План должен иметь координатную сетку; горизонтали; линию наибольшего ската плоскости (плоскостей) планировки; размеры ячейки сетки и сторон участка.

Объем земляных работ при планировке площадки рекомендуется подсчитывать по отдельным простейшим фигурам, образованным координатной сеткой. Чаще всего ячейками сетки являются квадраты с размерами сторон от 20 до 100 м. Размер стороны ячейки координатной сетки приводится в задании.

При неправильных противоположных линиях границ участка, помимо квадратов, по его контуру будут находиться и другие геометрические фигуры (трапеции, треугольники), а при длине стороны участка, не кратной длине отдельной ячейки координатной сетки, по контуру его будут находиться и прямоугольники (рисунок 1.1, *б*).

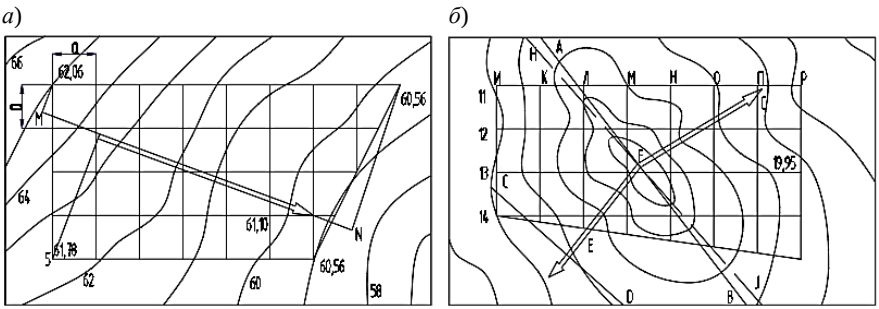


Рисунок 1.1 – Площадка на плане местности:
а – с одной плоскостью планировки; *б* – с двумя плоскостями планировки

Черные отметки – отметки естественного рельефа местности. Численные значения отметок определяются в узлах координатной сетки интерполяцией. Для этого между двумя соседними горизонталями через вершину квадрата по кратчайшему расстоянию (перпендикулярно) проводится прямая линия (рисунок 1.2). По принятому масштабу строительной площадки находится расстояние между горизонталями L на перпендикуляре, а также расстояние от вершины квадрата до вышележащей l_1 или нижележащей горизонтали l_2. Согласно рисунку расчет черной отметки в рассматриваемой вершине может производиться по одной из формул ниже в зависимости от выбранной горизонтали (H_{max} или H_{min}), относительно которой будет найдено превышение искомой точки, м:

$$h_ч = H_{max} - h_1 = H_{max} - h\frac{l_1}{L}; \quad (1.1)$$

$$h_ч = H_{min} + h_2 = H_{min} + h\frac{l_2}{L}, \quad (1.2)$$

где H_{max} – отметка вышележащей горизонтали, м;

H_{min} – отметка нижележащей горизонтали, м;

h – шаг горизонталей, м;

L – минимальное расстояние между горизонталями по перпендикуляру, м;

l_1 – расстояние от вершины квадрата до смежной вышерасположенной горизонтали, м;

l_2 – расстояние от вершины квадрата до смежной нижерасположенной горизонтали, м;

h_1, h_2 – превышения вершины квадрата относительно горизонталей H_{max} и H_{min} соответственно, м.

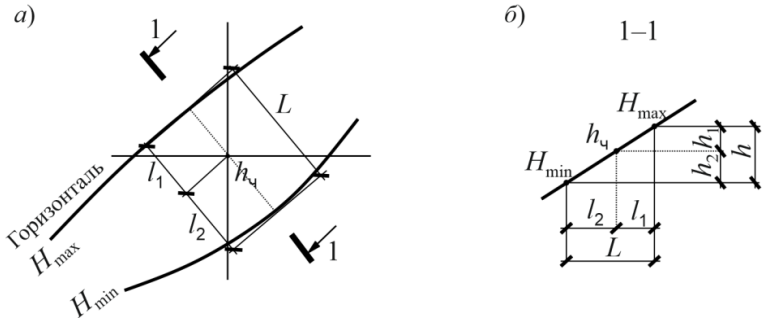


Рисунок 1.2 – Схема определения черной отметки:
а – план; *б* – профиль

Черные отметки записываются с точностью до 0,01 м справа внизу угла (рисунок 1.3). Цифры черных отметок записываются черным цветом.

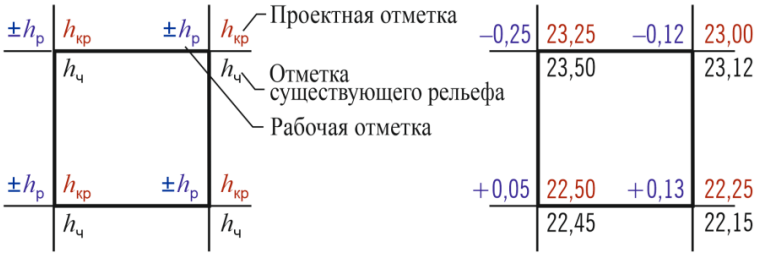


Рисунок 1.3 – Схема записи черных, красных и рабочих отметок в углах элементарных фигур

1.1.2 Определение красных отметок

Красные отметки – отметки плоскости планировки. Они определяются, как и черные, в узлах координатной сетки, нанесенной на плане местности.

В соответствии с заданием плоскость планировки участка может быть горизонтальной или иметь уклон. В первом случае красные отметки в пределах всего участка будут одинаковыми, во втором – различными, уменьшаясь в направлении уклона плоскости планировки. *Направление уклона плоскости планировки с целью уменьшения объемов земляных работ необходимо согласовывать с направлением естественного уклона местности.* Так, на рисунке 1.1, *а* уклон плоскости планировки направлен с левого верхнего угла к правой границе участка, на рисунке 1.1, *б* имеют место две плоскости планировки с уклонами из центра участка к его верхней и нижней границам. Нанесенные на рисунке 1.1 стрелки являются линиями наибольшего ската проектируемых плоскостей планировки.

Количество плоскостей планировки устанавливается студентом самостоятельно, исходя из рельефа местности. Плоскости планировки и их уклон могут быть заданы или их потребуется установить с учетом определенных условий. Ниже приводится методика определения красных отметок при различных условиях задания плоскостей планировки и их уклона.

1 **Положение плоскости планировки и ее уклон заданы.** Положение плоскости планировки задается координатами и отметкой одной из ее точек, например на рисунке 1.1, *а* – Д-4 61,10 м; на рисунке 1.1, *б* – П-13 19,95 м.

Зная отметку одной из точек и уклон плоскости (плоскостей) планировки, можно определить красные отметки угловых точек площадки, а затем по интерполяции – во всех узлах координатной сетки. Так на рисунке 1.1, *а* вначале определяются отметки точек А-1, И-1, А-5, Ж-5.

При заданном уклоне плоскости планировки i = 0,005 и размере ячейки координатной сетки 40 м отметки указанных точек будут соответственно 62,06; 60,56; 61,78 и 60,56. Далее рекомендуется по интерполяции найти сначала отметки точек по контуру, а затем и в середине площадки. Так, по оси А отметки точек 1, 2, 3, 4 и 5 будут соответственно равны 62,06; 61,99; 61,92; 61,85 и 61,78.

При необходимости устройства нескольких плоскостей планировки вначале необходимо установить линию их пересечения, а затем указанным выше методом определить красные отметки раздельно в пределах каждой плоскости. Положение одной из плоскостей является заданным (известны значения и координаты красной отметки, а также уклон плоскости). В задании следует принимать уклоны остальных плоскостей планировки равными уклону заданной плоскости. В этом случае линия пересечения пойдет из точки пересечения линий наибольшего ската по биссектрисе угла.

Вначале намечаются линии наибольшего ската проектируемых плоскостей, а затем по линии водораздела, строго по биссектрисе угла, между линиями наибольшего ската проводится линия пересечения двух или более плоскостей (см. рисунок 1.1, *б*, линия *AB*).

На правой (заданной) плоскости все красные отметки определяются исходя из координат отметки 19,95 и уклона местности, указанных в задании. На левой плоскости вначале определяется по правилам начертательной геометрии положение горизонтали с отметкой, равной отметке любой произвольной точки, взятой с правой плоскости.

Например, на рисунке 1.1, *б* горизонталь с отметкой 19,95 лежит на линии *CD*. Начиная от линии *CD*, обычным способом определяются отметки во всех узлах координатной сетки на левой плоскости планировки [12].

2 **Положение плоскости планировки задано, уклон плоскости необходимо выбрать исходя из минимума земляных работ.** В этом случае по линии наибольшего ската местности строится профиль участка, на который наносится указанная в задании фиксированная точка планировки.

Уклон плоскости планировки увязывается с уклоном местности для того, чтобы получить минимальные отметки насыпи и выемки на участке. На рисунке 1.4 приведены профили участков по линиям *MN* (см. рисунок 1.1, *а*), 0,014 и 0,013 (см. рисунок 1.4, *б*). При разных уклонах плоскостей планировки линия их пересечения не пойдет по биссектрисе угла в точке *F* (см. рисунок 1.1, *б*).

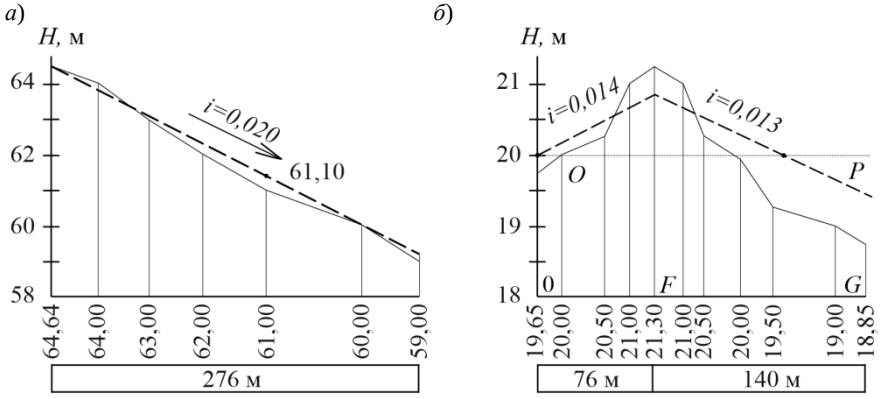


Рисунок 1.4 – Профили участков местности:
а – наличие одной плоскости планировки; *б* – наличие двух плоскостей планировки

Применительно к рассмотренному случаю линией пересечения плоскостей явится линия *HI*, положение которой может быть найдено графически как линия, проходящая через точки пересечения одинаковых по отметкам горизонталей. Так, в правой плоскости можно принять горизонталь, прохо-

дящую через точку с отметкой 19,95 (эта линия на рисунке 1.1, *б* является перпендикуляром к линии наибольшего ската к плоскости). На левой плоскости горизонталь с отметкой 19,95 может быть найдена графически по профилю участка (см. рисунок 1.4, *б*), где из точки с отметкой 19,95 проведена горизонтальная линия *OP* до пересечения с другой плоскостью планировки. Полученная на другой плоскости точка (с отметкой 19,95) переносится на линию наибольшего ската *EF*. Указанные две точки принадлежат разным плоскостям, но имеют одинаковые отметки.

Через эти точки проводим горизонталь (перпендикуляры к линиям наибольшего ската плоскостей); место пересечения горизонталей и явится точкой, лежащей на линии пересечения запроектированных плоскостей планировки.

Выбрав исходную точку на правой плоскости с другой отметкой, аналогично находим вторую точку пересечения плоскостей. Можно вместо нее использовать уже имеющуюся общую точку двух плоскостей (место пересечения линий наибольшего ската плоскостей).

По известным положениям и уклонам плоскостей планировки в соответствии с изложенной выше методикой определяются отметки всех точек на участке.

3 **Положение плоскости планировки не задано, его необходимо выбрать из условия нулевого баланса земляных масс, уклон плоскости планировки задан.** При нулевом балансе земляных масс на участке объем выемки равен объему насыпи. В этом случае, если плоскость планировки горизонтальна (i = 0,001), то красные отметки всех точек на участке равны черной средневзвешенной отметке $H_{\text{ср.в}}$ всех элементарных фигур. Эта отметка в общем случае определяется по формуле

$$H_{\text{ср.в}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_{\text{ср}.i}\zeta_i}{\sum_{i=1}^{n} \zeta_i}, \qquad (1.3)$$

где n – количество элементарных фигур на участке (например, на рисунке 1.5, *а* n = 30);

$h_{\text{ср}.i}$ – черная средняя отметка в пределах отдельной элементарной фигуры участка (определяется по известным черным отметкам ее угловых точек), м; для каждого i-го квадрата

$$h_{\text{ср}.i} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4},$$

ζ_i – частотный коэффициент i-й фигуры.

Частотный коэффициент ζ пропорционален площади элементарной фигуры, поэтому если для квадратов 1–7, 9, 10 и т. д. его принять равным единице, то для фигур 8, 16 он составит соответственно 0,75; 0,25 и т. д.

Если плоскость планировки имеет уклон, то полученной отметке $H_{\text{ср.в}}$ равна красная отметка лишь в центре тяжести массива. Можно ориентировочно принимать, что центр тяжести массива совпадает с центром тяжести горизонтальной проекции участка. Так, на рисунке 1.5, *а* черной отметке $H_{\text{ср.в}}$ соответствует красная отметка, лежащая в точке Г.

При наличии двух и более плоскостей планировки вначале устанавливается положение предполагаемой линии пересечения плоскостей (на рисунке 1.5, *б* линия *AB*), а затем в пределах каждой плоскости находится центр тяжести ее горизонтальной проекции (точки *U* и *V* на рисунке 1.5, *б*). В центре тяжести красная отметка принимается равной черной отметке $H_{\text{ср.в}}$.

а) *б*)

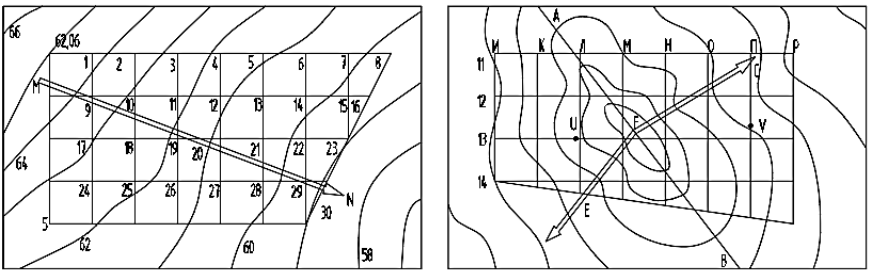


Рисунок 1.5 – Определение проектных красных отметок

Затем по улучшенным красным отметкам (определившим положение плоскостей планировки) обычным путем уточняется положение линии пересечения плоскостей планировки.

Дальнейшие расчеты аналогичны приведенным ранее, т. е. по известной красной отметке, ее положению и уклону плоскости планировки определяются вначале контурные, а затем и все остальные отметки на участке.

Красные отметки рассчитываются по формуле

$$h_{\text{кр}.i} = H_{\text{ср.в}} \pm il_i\,, \tag{1.4}$$

где $H_{\text{ср.в}}$ – первая красная отметка в центре тяжести горизонтальной проекции участка, задающая плоскость планировки, м;

i – уклон плоскости планировки;

l_i – расстояние от проекции $H_{\text{ср.в}}$ до проекции рассматриваемой узловой точки по линии наибольшего ската, м.

Знаки (+) или (–) ставятся в зависимости от положения проекции узловой точки относительно проекции $H_{ср.в}$ на линию наибольшего ската, направленную в сторону падения горизонталей. Таким образом, если проекция рассматриваемой узловой точки оказалась ниже по линии наибольшего ската относительно проекции $H_{ср.в}$ – ставится знак «–», выше по склону – «+», как показано на рисунке 1.6. Так, для узловых точек 3 и 7 формула расчета красных отметок (1.4) получит следующий вид:

$$h_{кр.3} = H_{ср.в} + il_3;\ \ h_{кр.7} = H_{ср.в} - il_7.$$

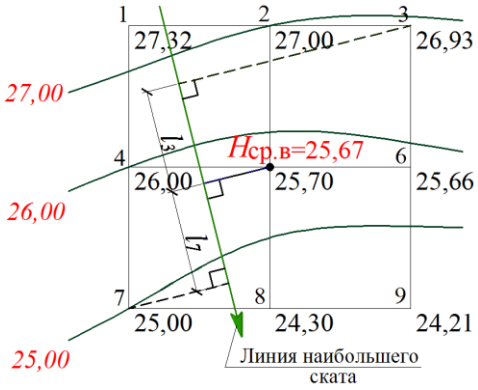


Рисунок 1.6 – Схема определения красных отметок

4 **Положение и уклон плоскости планировки не заданы.** В этом случае положение плоскости устанавливается из условия нулевого баланса земляных масс, а уклон – из условия минимума земляных работ.

Сначала, как и в предыдущем случае (см. п. 3), устанавливается в пределах каждой плоскости планировки средневзвешенная черная отметка, к ней приравнивается красная отметка, лежащая в центре тяжести этой плоскости. Затем все действия выполняются в соответствии с указаниями п. 2, т. е. строится профиль участка по линии наибольшего ската местности, уклон плоскости планировки увязывается с уклоном местности, при нескольких плоскостях устанавливается положение их линий пересечения и, наконец, по установленным положению их линии пересечения, положению плоскости планировки и ее уклону определяются красные отметки во всех узлах координатной сетки.

Красные отметки вычисляются с точностью до 0,001 м, записываются красным цветом над черными отметками (см. рисунок 1.3).

Пример 1.1. Производится планировка площадки на участке местности с координатами В-1; Ж-1; В-5; Ж-5 (рисунок 1.7). Ячейки сетки – квадраты со

стороной 80 м. Высота сечения рельефа – 0,75 м. Положение и уклон плоскости планировки не заданы. Рассчитать черные и красные отметки в узлах планировочной сетки.

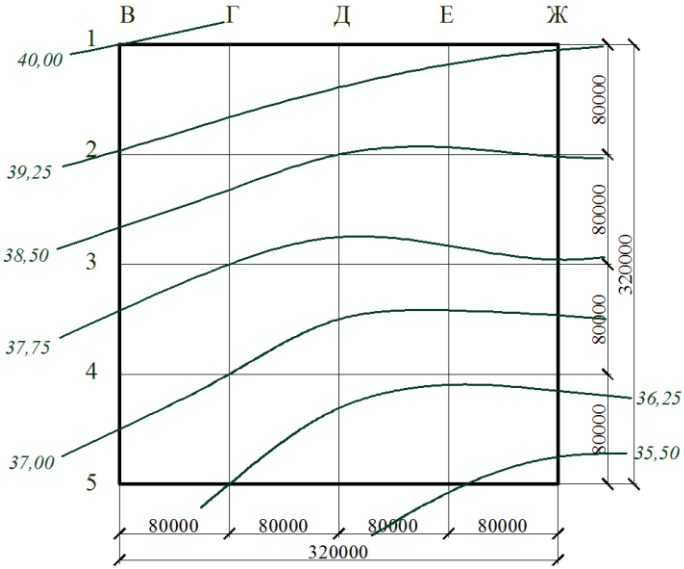


Рисунок 1.7 – Исходный план участка местности

Решение. Черные отметки находятся в узлах планировочной сетки интерполяцией по кратчайшему расстоянию между соседними горизонталями, записываются с точностью до 0,01 м (рисунок 1.9).

Оценка взаимного расположения горизонталей дает основание принять для проектирования одну плоскость планировки в пределах границ участка.

Положение плоскости устанавливается из условия нулевого баланса земляных масс. В таком случае расчетное значение черной средневзвешенной отметки $H_{ср.в}$ всех элементарных фигур будет равным красной отметке в центре тяжести массива

$$H_{ср.в}= (39,47 + 39,19 + 39,00 + 38,93 + 38,50 + 38,15 + 38,00 + 38,05 + 37,56 + + 37,19 + 36,98 + 37,00 + 36,82 + 36,41 + 36,07 + 35,93) / 16 = 37,70 \text{ м}.$$

Направление уклона плоскости планировки согласовывается с направлением естественного уклона местности. Таким образом, уклон плоскости планировки будет направляться с левого верхнего угла к правой нижней границе участка. Нанесенная на рисунке 1.9 стрелка является линией наибольшего ската проектируемой плоскости. По данной линии строится профиль участка в пределах его границ (рисунок 1.8).

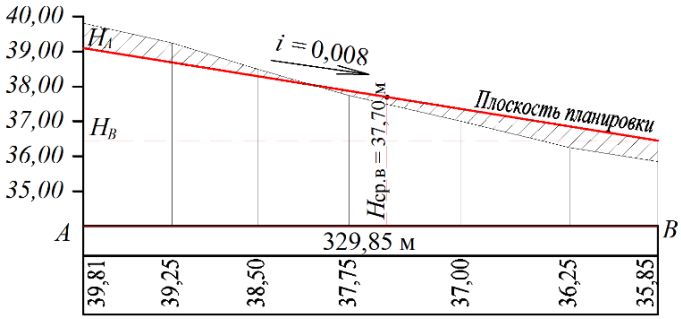


Рисунок 1.8 – Профиль участка местности

Уклон плоскости планировки

$$i = (H_A - H_B)/l = (39{,}10 - 36{,}45)/329{,}85 = 0{,}008.$$

По найденному положению плоскости планировки и ее уклону по формуле (1.4) определяются красные отметки во всех узлах координатной сетки (см. рисунок 1.9).

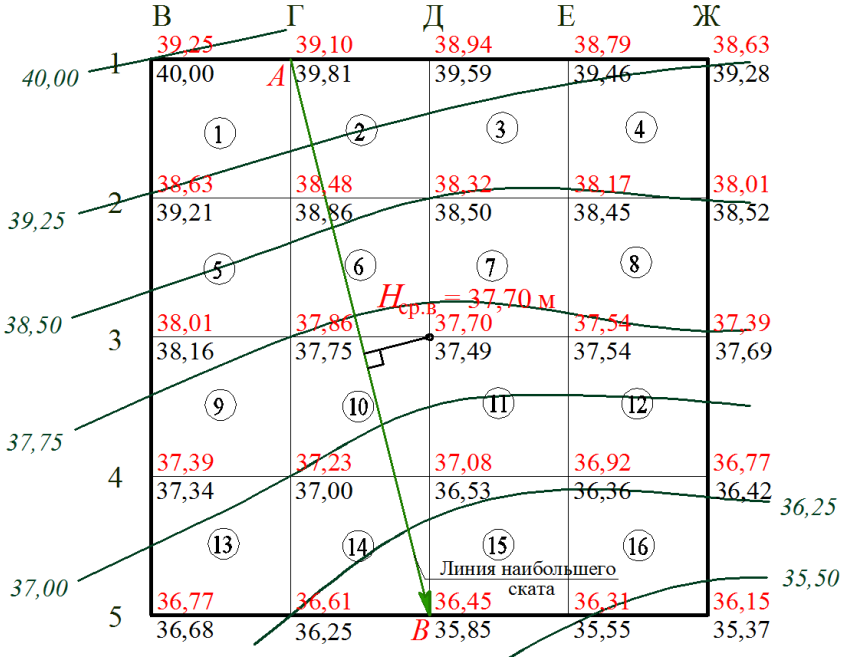


Рисунок 1.9 – План участка местности с черными и красными отметками

1.1.3 Определение рабочих отметок и установление контура земляных масс

Рабочие отметки определяются во всех узлах координатной сетки вычитанием из красной отметки черной. В этом случае в районе выемки рабочая отметка будет отрицательной, а в районе насыпи – положительной.

Полученные рабочие отметки со своими знаками записываются на плане участка левее соответствующих красных отметок (см. рисунок 1.3).

На листе чертежей план участка местности с расчетными значениями черных, красных и рабочих отметок в узлах координатной сетки приводится слева рядом с исходным планом в принятом масштабе (см. приложение Р). План должен иметь координатную сетку; горизонтали; линию наибольшего ската плоскости (плоскостей) планировки; черные; красные и рабочие отметки всех узлов координатной сетки, а также необходимые построения. Профиль местности вычерчивается под планом местности в том же горизонтальном масштабе (см. приложение Р).

Контур земляных масс в курсовом проекте охватывает выемки, насыпи при планировке площадки, откосы насыпей и выемок на границах участка, котлованы под здание и траншеи под коммуникации.

На границе насыпи с выемкой проходит *линия нулевых работ*, положение которой определяется по известным соседним рабочим отметкам насыпи и выемки [17].

Например, рассмотрим квадрат № 9 (рисунок 1.10) с рабочими отметками в узлах В-3 и В-4 соответственно –0,15 и +0,05 м. Линия нулевых работ разделит рассматриваемую сторону квадрата в отношении 3 : 1. Значит, «отрицательная» часть составит 60 м, а «положительная» – 20 м. Аналогично определяем остальные точки.

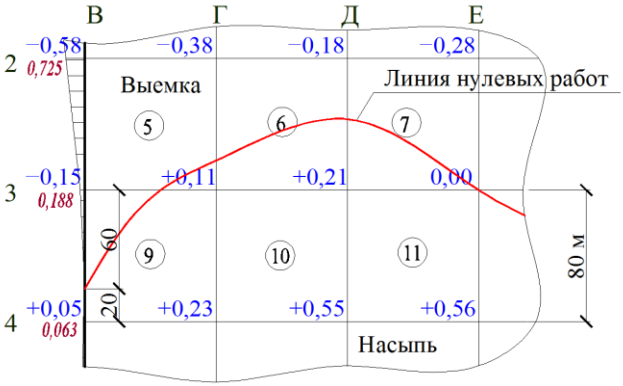


Рисунок 1.10 – Определение рабочих отметок и положения линии нулевых работ

Линия нулевых работ проводится плавной кривой, без изломов в месте пересечения линий координатной сетки.

Заложение (горизонтальная проекция) линии откосов в метрах определяется по контуру участка в узлах координатной сетки. Оно равно произведению рабочей отметки в данном узле на показатель крутизны откоса m:

$$H_0 = h_p\, m.$$

Значение m может быть принято равным: для насыпей – 1,25–1,5, для выемок – 1,25.

Пример 1.2. На основании полученных результатов расчета черных и красных отметок (см. пример 1.1, рисунок 1.9) определить рабочие отметки в узлах координатой сетки, построить линию нулевых работ и контур земляных масс. Ячейки сетки – квадраты со стороной 80 м.

Решение. На рисунке 1.11 приведен план местности с рабочими отметками в узлах координатной сетки. В расчетах заложения линии откосов H_0 по контуру участка принято значение показателя крутизны откосов m = 1,25.

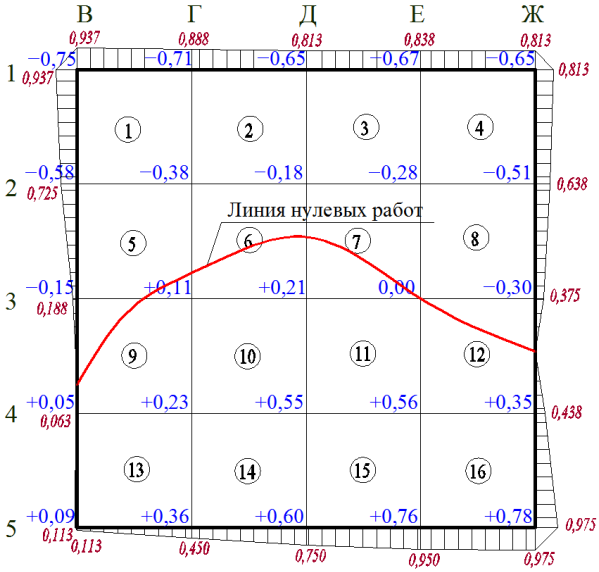


Рисунок 1.11 – План участка местности с рабочими отметками

1.1.4 Подсчет объемов земляных работ

Полные объемы $V_{\text{п}}$ насыпи и выемки при вертикальной планировке площадки определяются суммированием соответствующих объемов по от-

дельным элементарным фигурам в пределах площадки $V_о$ и дополнительных объемов насыпи и выемки $V_д$, м^3, расположенных в откосах, залегающих у внешних сторон элементарных фигур

$$V_п = V_о + V_д \ . \tag{1.5}$$

В общем случае объем земляных работ в пределах элементарной фигуры, условно называемый ***основным***,

$$V_о = h_{ср} F, \tag{1.6}$$

где $h_{ср}$ – средняя рабочая отметка в пределах элементарной фигуры, м;

F – площадь, занятая насыпью (выемкой) в пределах элементарной фигуры, м^2.

В свою очередь,

$$h_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{n}, \tag{1.7}$$

где n – число вершин элементарной фигуры, занятой насыпью (выемкой);

h_i – отдельная рабочая отметка насыпи (выемки) в пределах элементарной фигуры, м.

Площадь фигур определяем по соответствующим формулам, исходя из определения размеров сторон простым обмером и с учетом соответствующего масштаба.

Для определения основного объема используют следующие формулы:

– прямоугольник или квадрат –

$$V_о = F \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4};$$

– треугольник, отсекаемый нулевой линией, –

$$V_о = F \frac{h_1 + 0 + 0}{3};$$

– трапеция, отсекаемая нулевой линией, –

$$V_о = F \frac{h_1 + h_2 + 0 + 0}{4};$$

– пятиугольник, отсекаемый нулевой линией, –

$$V_{\text{о}} = F\frac{h_1 + h_2 + h_3 + 0 + 0}{5}.$$

У фигур, расположенных по контуру участка, к полученному основному объему добавляется дополнительный, образованный устройством откоса от плоскости планировки к поверхности земли. Дополнительный объем

$$V_{\text{д}} = \frac{a_{\text{о}} m}{8}\left(h' + h''\right)^2, \qquad (1.8)$$

где $a_{\text{о}}$ – длина стороны элементарной фигуры, имеющей откос, м;

m – показатель крутизны откоса;

h' и h'' – рабочие отметки по краям стороны элементарной фигуры, имеющей откос, м.

Общий объем насыпи $V_{\text{п}}^{\text{н}}$ и выемки $V_{\text{п}}^{\text{в}}$ при планировке площадки определяется суммированием соответствующих полных объемов по отдельным элементарным фигурам.

Все объемы земляных работ подсчитываются с точностью до 1 м^3. Расчеты по определению объемов земляных работ рекомендуется вести в табличной форме. Ниже приводится образец заполнения ведомости объемов работ (таблица 1.1) с подсчетами применительно к примеру 1.3.

Пример 1.3. Определить общий объем выемки и насыпи, подлежащий разработке при вертикальной планировке участка, согласно расчетным значениям рабочих отметок. План участка с отметками представлен на рисунке 1.11.

Решение. Основные и дополнительные объемы в элементарных фигурах рассчитываются для насыпи и выемки раздельно. Методика подсчета для выемки и насыпи одинакова. Рассмотрим ее на примере. Так, для фигуры 8 (см. рисунки 1.10, 1.11), лежащей в выемке, основной, дополнительный и полный объемы соответственно:

$$V_{\text{о}} = h_{\text{ср}}F = \frac{-0,28 - 0,51 - 0,30 + 0}{4}\cdot 80^2 = 1744 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{д}} = \frac{80\cdot 1,25}{8}(-0,51 - 0,30)^2 = 8 \text{ м}^3; \quad V_{\text{п}} = V_{\text{о}} + V_{\text{д}} = 1744 + 8 = 1752 \text{ м}^3.$$

Для фигуры 9 эти объемы, лежащие в насыпи:

$$V_{\text{о}} = \frac{0 + 0,11 + 0,23 + 0,05 + 0}{5}(80^2 - 0,5\cdot 60\cdot 48) = 387 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{д}} = \frac{(80 - 60)\cdot 1,25}{8}(0,05 + 0)^2 = 0,008 \approx 0 \text{ м}^3; \quad V_{\text{п}} = 387 + 0 = 387 \text{ м}^3.$$

Таблица 1.1 – **Ведомость подсчета объемов земляных масс при планировке площадки (пример)**

№	Рабочие отметки, м				Основной объем						Дополнительный объем					Полный объем		
	h_1	h_2	h_3	h_4	Выемка			Насыпь			$a_0m/8$, м	h', м	h'', м	$(h' + h'')^2$, м^2	$V_д$, м^3	Выемка $V_п^в$	$V_п^в \times$ ×1,05	Насыпь
					$h_{ср}$, м	F, м^2	$V_о$, м^3	$h_{ср}$, м	F, м^2	$V_о$, м^3								
1	–0,58	–0,38	–0,71	–0,75	–0,61	6400	3872				12,5	–0,58	–0,75	1,77	22,1	3921	**4117**	
											12,5	–0,75	–0,71	2,13	26,6			
2	–0,38	–0,71	–0,65	–0,18	–0,48	6400	3072				12,5	–0,71	–0,65	1,85	23,1	3095	**3250**	
3	–0,65	–0,67	–0,28	–0,18	–0,45	6400	2848				12,5	–0,65	–0,67	1,74	21,8	2870	**3011**	
4	–0,28	–0,67	–0,65	–0,51	–0,53	6400	3376				12,5	–0,67	–0,65	1,74	21,8	3415	**3586**	
											12,5	–0,65	–0,51	1,35	16,8			
5	–0,15	–0,58	–0,38	0,11	–0,22	6103	1355	0,04	297	11	12,5	–0,15	–0,58	0,53	6,7	1362	**1430**	**11**
6	–0,38	–0,18	0,11	0,21	–0,14	3800	532	0,08	2600	208						532	**559**	**208**
7	0,00	0,21	–0,18	–0,28	–0,12	4600	529	0,07	1800	126						529	**556**	**126**
8	…	…	…	…												…	**…**	**…**
…																		
…																		
16	0,76	0,56	0,78	0,35				0,61	6400	3920	12,5	0,76	0,78	2,37	29,6			**3966**
											12,5	0,78	0,35	1,28	16,0			
															Σ	17 697	**18 582**	**17 632**

Примечание – В выемках объемы работ подсчитываются с учетом коэффициента остаточного разрыхления грунта K_0 (для песка – 1,05).

Просуммировав данные по последним двум графам таблицы, получим общий объем насыпи и выемки при планировке площадки. Результаты подсчета – полные объемы земляных масс в отдельных элементарных фигурах – наносятся на картограмму раздельно по выемке и насыпи (рисунок 1.12).

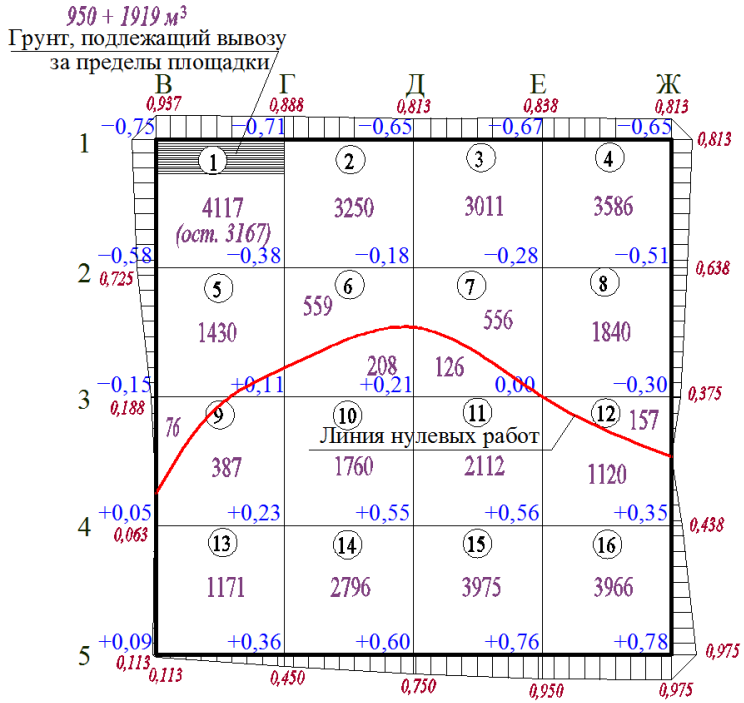


Рисунок 1.12 – Подсчет объемов земляных работ

1.2 Составление баланса земляных масс и картограммы объемов земляных работ

Под балансом земляных масс понимается уравновешивание объема вынутого грунта в районе насыпей.

Как правило, полного равенства этих объемов не бывает. Поэтому при составлении баланса земляных масс необходимо выделить участки на строительной площадке, на которые грунт завозится извне (при превышении объема насыпей над объемом выемок) или вывозится в отвал (при превышении объема выемок над объемом насыпей). Как в том, так и в другом случае расстояние транспортирования грунта из карьера на площадку или из площадки в отвал принимается в соответствии с заданием.

При сравнении объемов насыпей и выемок необходимо общий объем выемок на участке умножить на коэффициент остаточного разрыхления грунтов K_0, определяемый по формуле

$$K_0 = \frac{100 + n'}{100}, \qquad (1.9)$$

где n' – остаточное разрыхление грунта (приложение Ж).

Например, для песка при n' = 2...5 % K_0 составит 1,02–1,05.

В рассматриваемом примере (см. таблицу 1.1) объем насыпей составляет 17 632 м^3, выемок (с учетом K_0, принятого равным 1,05) – 18 582 м^3, объем сбалансированного грунта равен 17 632 м^3, несбалансированного (в районе выемок): 18 582 – 17 632 = 950 м^3.

При составлении баланса земляных масс должен быть учтен также грунт, оставшийся после разработки котлована и траншей под инженерные коммуникации. Например, при объемах котлована и фундамента с подвалом соответственно 2120 и 1710 м^3 объем пазух фундамента

$$V_{\text{п}} = 2120 - 1710 = 410 \text{ м}^3.$$

Объем грунта, который необходимо оставить для обратной засыпки, при K_0 = 1,05

$$\frac{410}{K_0} = \frac{410}{1,05} = 390 \text{ м}^3.$$

Объем грунта, который необходимо оставить для обратной засыпки пазух фундамента,

2120 – 390 = 1730 м^3 или с учетом K_0 1730 · 1,05 = 1817 м^3.

Допустим, что объемы траншеи и непроходного канала теплотрассы соответственно равны 196 и 92. Тогда объем грунта, обратно засыпаемого в траншею, 196 – 92 = 104 м^3.

Объем грунта, который необходимо оставить для обратной засыпки траншеи, при K_0 = 1,05

$$\frac{104}{K_0} = \frac{104}{1,05} = 99 \text{ м}^3.$$

Объем грунта в плотном теле, подлежащий вывозу после обратной засыпки траншеи, 196 – 99 = 97 м^3 или с учетом K_0 97 · 1,05 = 102 м^3.

Таким образом, в целом из котлована и траншеи необходимо вывезти грунт в количестве 1817 + 102 = 1919 м^3.

Окончательно в рассматриваемом примере объем грунта, подлежащего вывозу, 950 + 1919 = 2869 м^3.

На плане участка намечаются несбалансированные квадраты координатной сетки, т. е. квадраты, из которых грунт будет вывозиться за пределы строительной площадки на расстояние, указанное в задании. Целесообразно несбалансированные квадраты намечать в наиболее удаленных местах от линии нулевых работ. В этом случае в сбалансированной части площадки будут получены меньшие расстояния перемещения грунта. На рисунке 1.12 для рассмотренного примера подлежит вывозу за пределы участка частично грунт с квадрата координатной сетки № 1.

На основании ведомости подсчета объемов земляных масс составляется картограмма объемов земляных работ (см. с. 27).

1.3 Распределение земляных масс

Задачей распределения земляных масс является установление оптимального количества грунта, направляемого из *i*-го элементарного участка в *j*-й элементарный участок насыпи.

Найти оптимальное решение данной задачи можно использовав методы линейного программирования, в частности методы решения транспортной задачи.

Математически транспортная задача формулируется так. Имеется *m* поставщиков и *n* потребителей какой-либо продукции; мощность поставщика номер *i* и емкость потребителя *j*, соответственно равные A_i и B_j, при этом общая мощность поставщиков должна равняться суммарной емкости потребителей, т. е.

$$\sum_{i=1}^{m} A_i = \sum_{j=1}^{n} B_j. \qquad (1.10)$$

Критерием целесообразности перевозки продукции от *i*-го поставщика к *j*-му потребителю могут быть затраты на перевозку единицы продукции, на расстояния перевозки и т. д. Этот критерий называется оценкой, коэффициентом цены и обозначается C_{ij}.

Если объем перевозки от *i*-го поставщика к *j*-му потребителю обозначить через X_{ij}, то оптимальным решением задачи распределения земляных масс явится минимальное значение функции

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min. \qquad (1.11)$$

Поскольку указанная функция (1.11) является целью решения данной задачи, она носит название целевой функции.

Ограничивающими условиями, помимо уравнения (1.10), являются объем поставок, осуществляемый поставщиком i, он должен быть равен его мощности, т. е.

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = A_i;\ (i = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots, m); \tag{1.12}$$

объем поставок j, который должен равняться его вместимости,

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} = B_i;\ (i = 1, 2, 3, \ldots, n). \tag{1.13}$$

Поскольку перевозки не могут быть встречными, то можно записать еще одно ограничение

$$X_{ij} \geq 0.$$

Зависимости (1.12) и (1.13) можно представить в матричной форме (таблица 1.2)

Таблица 1.2 – **Матричная форма транспортной задачи**

Поставщик		Потребитель					
Номер	V	1	2	...	j	...	N
		B_1	B_2	...	B_j	...	B_n
1	A_1	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	...	$X_{1,j}$	...	$X_{1,n}$
2	A_2	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$	...	$X_{2,j}$	...	$X_{2,n}$
...	...	...	...	...	...	...	...
i	A_i	$X_{i,1}$	$X_{i,2}$	...	$X_{i,j}$	...	$X_{i,n}$
...	...	...	...	...	...	...	...
m	A_m	$X_{m,1}$	$X_{m,2}$	...	$X_{m,j}$	...	$X_{m,n}$
Примечание – Здесь V – объем продукции i-го поставщика или j-го потребителя.							

1.3.1 Построение исходной матрицы

Рассмотрим картограмму объемов земляных работ на участке неправильной формы в плане, представленную на рисунке 1.13, и используем ее в качестве примера для решения задачи распределения земляных масс. Объем сбалансированного грунта составляет 13 462 м^3, несбалансированного (в районе выемок): 27 008 – 13 462 = 13 546 м^3. В рассматриваемом примере грунта в выемках значительно больше, чем в насыпях. Чтобы уравновесить земляные массы в выемке и насыпи, подлежит вывозу за пределы участка грунт целиком с квадратов координатной сетки № 1; 9; 17; 24 и частично

№ 2. Также из котлована и траншеи в целом планируется вывезти грунт в количестве 1848 м^3.

В рассматриваемом примере поставщиками будут выемки, а потребителями – насыпи, продукцией является перевозимый грунт. Для упрощения задачи предполагаем, что в районе линии нулевых работ (см. рисунок 1.13) планировку площадки будет осуществлять бульдозер. Поэтому исключаем из рассмотрения участки выемки и насыпи, лежащие в районе линии нулевых работ и разрабатываемые бульдозером (таблица 1.3).



Рисунок 1.13 – Картограмма объемов земляных работ

Таблица 1.3 – **Ведомость объемов бульдозерных работ**

Номер фигуры	Выемка		Номер фигуры	Насыпь	
	Объем, м^3			Объем, м^3	
	исключенный	оставшийся		исключенный	оставшийся
5 6 *Итого*	213 5 218	0 0	5 6 *Итого*	55 163 218	0 219
12 13 20 – *Итого*	328 1 411 – 740	0 0 0 –	12 13 20 21 *Итого*	22 343 179 196 740	0 0 0 452
26 27 *Итого*	189 38 227	241 0	26 27 *Итого*	1 226 227	0 0
ВСЕГО	1185		ВСЕГО	1185	

Как видно из таблицы 1.3, должно обеспечиваться равенство исключенных объемов в выемках и насыпях.

На рисунке 1.14 приведены заштрихованные участки, в которых земляные массы перемещаются бульдозером. Распределение земляных масс здесь, вследствие небольших значений объемов работ и расстояний перемещения, не делается. Устанавливается только среднее расстояние перемещения грунта. Методика его определения приведена во второй главе пособия.

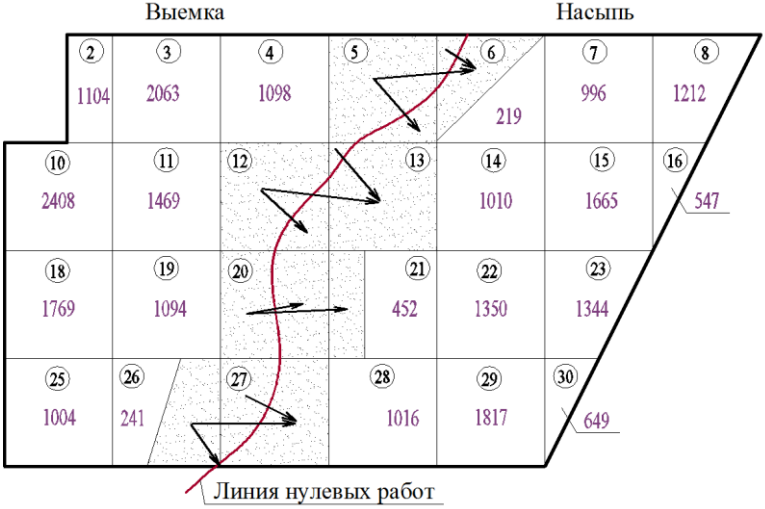


Рисунок 1.14 – Сбалансированная картограмма объемов земляных работ

Для остальных элементарных участков (квадратов координатной сетки) сбалансированной части строительной площадки необходимо методами линейного программирования составить оптимальное распределение земляных масс. Разработка грунта в той части площадки будет выполняться скрепером.

На рисунке 1.14 в этих участках приведены объемы земляных масс.

Если планировку площадки в целом (за исключением района нулевых мест) будет осуществлять машина одного типа, то в качестве оценки (критерия оптимальности) C_{ij} можно принять расстояние перемещения грунта от центра тяжести i-го поставщика в центр тяжести j-го потребителя, т. е. целевая функция определится как минимальная работа перевозок, выраженная произведением объема перемещаемого грунта на расстояния.

Последняя строка и столбец в таблице 1.4 служат для контроля условия

$$\sum_{i=1}^{m} A_i = \sum_{j=1}^{n} B_j.$$

В данном случае

$$\sum_{i=2}^{m=26} A_i = \sum_{j=6}^{n=30} B_j = 12\,277 \text{ м}^3.$$

Таблица 1.4 – **Исходная матрица для решения транспортной задачи (до оптимизации)**

i	j	6	7	8	14	15	16	21	22	23	28	29	30	Σ
	V, м^3	219	996	1212	1010	1665	547	452	1350	1344	1016	1817	649	12277
2	1104	155	185	220	155	190	215	140	170	195	160	190	210	
3	2063	130	160	200	130	170	190	120	145	170	145	170	185	
4	1098	90	120	155	90	125	150	95	115	135	125	145	160	
10	2408	170	205	240	160	200	225	135	165	200	145	180	200	
11	1469	130	165	200	120	160	185	95	130	160	115	145	165	
18	1796	185	215	250	165	205	235	130	160	195	125	165	190	
19	1094	145	180	215	130	165	190	90	120	155	90	125	150	
25	1004	200	235	265	180	215	240	135	165	200	120	160	185	
26	241	175	210	240	150	190	215	105	135	170	90	130	155	
Σ	12277													

Результат распределения земляных масс не изменится, если все оценки разделить на общий делитель или отнять от них одинаковое число. В рассмотренном примере можно все оценки разделить на 5 и от полученных значений отнять минимальное из них, равное 18, в клетках 4–6, 4–14, 19–21, 18–28 и 26–28; в итоге в указанных клетках оценка станет равной нулю (таблица 1.5)

Таблица 1.5 будет являться исходной матрицей для построения оптимального плана распределения земляных масс.

Таблица 1.5 – **Исходная матрица для решения транспортной задачи (после оптимизации)**

i	j	6	7	8	14	15	16	21	22	23	28	29	30	Σ
	V, м^3	219	996	1212	1010	1665	547	452	1350	1344	1016	1817	649	12277
2	1104	13	19	26	13	20	25	10	16	21	14	20	24	
3	2063	8	14	22	8	16	20	6	11	16	11	16	19	
4	1098	0	6	13	0	7	12	1	5	9	7	11	14	
10	2408	13	23	30	14	22	27	9	15	22	11	18	22	
11	1469	8	15	22	6	14	19	1	8	14	5	11	15	
18	1796	19	25	32	15	23	29	8	14	21	7	15	20	
19	1094	11	8	25	8	15	20	0	6	13	0	7	12	
25	1004	22	29	35	18	25	30	9	15	22	6	14	19	
26	241	17	24	30	12	20	25	3	9	16	0	8	13	
Σ	12277													

Оптимальный план распределения земляных масс может быть составлен как вручную с использованием методов линейного программирования,

так и на компьютере с использованием имеющихся для решения задачи программ.

1.3.2 Составление оптимального плана распределения земляных масс с использованием методов линейного программирования

Решение задачи оптимального распределения земляных масс при ручном счете начинается с построения начального базисного плана транспортировки, который последовательными пересчетами (итерациями) приводится к оптимальному плану.

Существует несколько методов построения начального плана: диагональный, минимальной стоимости, двойного предпочтения, аппроксимации Фогеля. Одним из наиболее простых и дающих близкое к оптимальному решение является метод двойного предпочтения, который заключается в следующем. В каждой строчке матрицы находится клетка с минимальной оценкой, указанная клетка отмечается звездочкой. То же делается по каждому столбцу матрицы. В итоге в одних клетках окажется по две звездочки, в других – по одной, а ряд клеток останется неотмеченным. В первую очередь максимально загружаем клетки с двумя звездочками, затем – с одной и в последнюю очередь – все остальные. При наличии нескольких равноценных клеток (с двумя, одной или без звездочки) преимущество отдается клетке с меньшей оценкой.

Для рассмотренного примера в таблице 1.6 приведен начальный базисный план, построенный по методу двойного предпочтения.

Таблица 1.6 – **Решение транспортной задачи методом двойного предпочтения**

i	*j*	6	7	8	14	15	16	21	22	23	28	29	30	Σ
	V, м³	219	996	1212	1010	1665	547	452	1350	1344	1016	1817	649	12277
2	1104	13	19	26	13	20 **610**	25	+10	16	21 **494**	14	20	24	
3	2063	8	14 **996**	22	8	16 **1055**	20	+6	11 **12**	16	11	16	19	
4	1098	++0 **219**	+6	+13	+0 **879**	+7	+12	1	+5	+9	7	11	14	
10	2408	13	23	30 **1212**	14	22	27 **547**	+9	15	22 **649**	11	18	22	
11	1469	8	15	22	6 **131**	14	19	+1	8 **1338**	14	5	11	15	
18	1796	19	25	32	15	23	29	8	14	21 **201**	+7	15 **946**	20 **649**	
19	1094	11	8	25	8	15	20	++0 **452**	6	13	+0 **642**	+7	+12	
25	1004	22	29	35	18	25	30	9	15	22	+6 **133**	14 **871**	19	
26	241	17	24	30	12	20	25	3	9	16	+0 **241**	8	13	
Σ	12277													

Здесь в первую очередь загружались клетки, имеющие по два плюсика, а именно 4–6, 19–21. Этими загрузками исчерпаны столбики потребителей № 6 и 21. Остальные клетки, имеющие по одному плюсику, заполнялись начиная с клетки с меньшей оценкой, т. е. в следующем порядке: 4–14 (исключился поставщик № 4), 19–28 (исключился поставщик № 19), 26–28 (исключился поставщик № 28), 25–28 (исключился поставщик № 28).

Остальные клетки (свободные от плюсиков) заполняются так же, начиная с клетки с меньшей оценкой, т. е. в порядке 11–14; 11–22; 3–22; 3–7; 25–29; 3–15; 18–30; 2–23; 18–23; 10–23; 10–16 и, наконец, 10–8.

После составления первоначального базисного плана проверяется количество заполненных клеток, которое должно быть равно $m + n - 1$, т. е. суммарному количеству строк и столбцов без единицы. В рассмотренном примере матрица имеет $m = 9$, $n = 12$. Следовательно, количество заполненных клеток должно быть $9 + 12 - 1 = 20$. И, действительно, их оказалось 20. Если же количество занятых клеток окажется меньше $m + n - 1$, то такой план называется «вырожденным», он не может быть оптимизирован. Для устранения вырождения в одну или несколько свободных клеток (обычно с минимальной оценкой) вводятся поставки, равные нулю, и клетки считаются занятыми.

Целевая функция в рассматриваемом примере

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij}X_{ij} = 20\cdot 610 + 21\cdot 494 + 14\cdot 996 + 16\cdot 1055 + 11\cdot 12 + 0\cdot 219 + 0\cdot 879 +$$
$$+ 30\cdot 1212 + 27\cdot 547 + 22\cdot 649 + 6\cdot 131 + 8\cdot 1338 + 21\cdot 201 + 15\cdot 946 + 20\cdot 649 +$$
$$+ 0\cdot 642 + 6\cdot 133 + 14\cdot 871 + 0\cdot 241 = 174\,810 \text{ у. е.}$$

Существует несколько методов улучшения начального плана. Одним из наиболее часто применяющихся является метод потенциалов. Потенциалами называются такие численные характеристики строк U_i и столбцов V_j, при которых соблюдается условие оптимальности плана. Математически это условие записывается так:

$$V_j - U_i = C_{ij}, \text{ если } X_{ij} > 0 \text{ (условие для занятых клеток)}; \quad (1.14)$$
$$V_j - U_i < C_{ij}, \text{ если } X_{ij} = 0 \text{ (условие для свободных клеток)}. \quad (1.15)$$

Рассмотрим несколько итераций улучшения плана применительно к примеру, приведенному в таблице 1.6. При этом потенциалы строк U_i будем записывать справа за последней графой таблицы, потенциалы столбцов V_j – внизу за последней строкой таблицы (таблица 1.7).

Количество уравнений (1.14) равно количеству занятых клеток, т. е.

$m + n - 1$ (в нашем случае 9 + 12 – 1 = 20), а количество неизвестных $m + n$ (в нашем случае 9 + 12 = 21), т. е. всегда одно неизвестное окажется лишним. Поэтому одному из них можно придать любое заранее известное число, например 0, и затем определить в указанных уравнениях (1.14) все остальные значения потенциалов U_i и V_j.

Подбор потенциалов начинаем с первой строки. Принимаем $U_2 = 0$ (см. таблицу 1.7). В первой строке заняты клетки 2–15 и 2–23, через которые можно определить потенциалы V_{15} и V_{23}. Находим их из выражения (1.14):

$$V_{15} = C_{2,15} + U_2; \qquad V_{23} = C_{2,23} + U_2;$$
$$V_{15} = 20 + 0 = 20; \qquad V_{23} = 21 + 0 = 21.$$

Далее по полученным потенциалам находим потенциалы строк U_3, U_{10} и U_{18} из выражения (1.14), решая его относительно U_1, т. е.:

$$U_1 = V_j + C_{ij} \text{ или } U_3 = V_{15} + C_{3,15} = 20 - 16 = 4;$$
$$U_{10} = V_{23} + C_{10,23} = 21 - 22 = -1 \text{ или } U_{18} = V_{23} + C_{18,23} = 21 - 21 = 0.$$

Таблица 1.7 – **Оптимизация распределения земляных масс**

i	j	6	7	8	14	15	16	21	22	23	28	29	30	U_i
	V, м³	219	996	1212	1010	1665	547	452	1350	1344	1016	1817	649	
2	1104	13	19	26	13	20 **610**	25	+10	16	21 **494**	14	20	24	0
3	2063	8	14 **996**	22	8	16 **1055**	20	+6	11 **12**	16	11	16	19	4
4	1098	++0 **219**	+6	+13	+0 **879**	+7	+12	1	+5	+9	7	11	14	13
10	2408	13	23	30 **1212**	14	22	27 **547**	+9	15	22 **649**	11	18	22	–1
11	1469	8	15	22	6 **131**	14	19	+1	8 **1338**	14	5	11	15	7
18	1796	19	25	32	15	23	29	8	14	21 **201**	+7	15 **946**	20 **649**	0
19	1094	11	8	25	8	15	20	++0 **452**	6	13	+0 **642**	+7	+12	7
25	1004	22	29	35	18	25	30	9	15	22	+6 **133**	14 **871**	19	1
26	241	17	24	30	12	20	25	3	9	16	+0 **241**	8	13	7
V_j		13	18	29	13	20	26	7	15	21	7	15	20	

Аналогично определяем все остальные потенциалы строк и столбцов и заносим их в таблицу 1.7:

$V_7 = 4 + 14 = 18;$ $V_{22} = 4 + 11 = 15;$ $U_{11} = 15 - 8 = 7;$

$V_{14} = 7 + 6 = 13;$ $U_4 = 13 - 0 = 13;$ $V_{14} = 13 + 0 = 13;$

$V_8 = -1 + 30 = 29;$ $V_{16} = -1 + 27 = 26;$ $V_{29} = 0 + 15 = 15;$

$U_{25} = 15 - 14 = 1;$ $V_{20} = 0 - 20 = 20;$ $V_{28} = 1 + 6 = 7;$

$U_{19} = 7 - 0 = 7;$ $U_{21} = 7 + 0 = 7;$ $U_{26} = 7 - 0 = 7.$

Далее проводится проверка условия (1.15) для свободных клеток, при этом удобнее все члены в условии перенести в левую часть. Тогда получим выражение $V_j - U_i - C_{ij} \le 0$, т. е. во всех случаях левая часть, которую для простоты можно обозначить Δ_{ij}, должна быть меньше или равна нулю. Если хотя бы одно из значений $\Delta_{ij} \ge 0$, то план не будет оптимальным.

Для нашего примера:

$\Delta_{2,6} = 13 - 0 - 13 = 0;$

$\Delta_{2,8} = 29 - 0 - 26 = 3 > 0;$

$\Delta_{2,16} = 26 - 0 - 25 = 1 > 0;$

$\Delta_{2,29} = 15 - 0 - 20 = -5;$

$\Delta_{3,6} = 13 - 4 - 8 = 1 > 0;$

$\Delta_{3,14} = 13 - 4 - 8 = 1 > 0;$

…….;

…….;

…….;

…….;

…….;

…….;

…….;

$\Delta_{19,23} = 21 - 4 - 16 = 1 > 0;$

$\Delta_{19,30} = 20 - 7 - 1 = 1 > 0;$

$\Delta_{2,7} = 18 - 0 - 19 = -1;$

$\Delta_{2,14} = 13 - 0 - 13 = 0;$

$\Delta_{2,28} = 7 - 0 - 14 = -7;$

$\Delta_{2,36} = 20 - 0 - 24 = -4;$

$\Delta_{3,8} = 29 - 4 - 22 = 3 > 0;$

$\Delta_{3,16} = 26 - 4 - 20 = 2 > 0;$

$\Delta_{3,23} = 21 - 4 - 16 = 1 > 0;$

$\Delta_{4,8} = 29 - 13 - 13 = 3 > 0;$

$\Delta_{4,16} = 26 - 13 - 12 = 1 > 0;$

$\Delta_{18,22} = 15 - 0 - 14 = 1 > 0;$

$\Delta_{19,22} = 15 - 7 - 6 = 2 > 0;$

$\Delta_{19,29} = 15 - 7 - 7 = 1 > 0;$

……

Таким образом, проверка показала, что первоначальный план не является оптимальным, ибо не выполнено условие (1.15).

Итерация 1. Улучшаем начальный план распределения. Для этого из всех положительных значений Δ выбираем максимальное. От клетки с максимальным нарушением строится контур перераспределения, представляющий собой замкнутый многоугольник, все вершины которого, кроме начальной, располагаются в занятых клетках. Начальной вершиной многоугольника является свободная клетка с максимальным нарушением. Внутри контура делается перераспределение земляных масс, получим более экономичное решение по сравнению с предыдущим распределением. В нашем случае максимальное нарушение, равное 3, получилось в нескольких клетках. Одну и них, например клетку 2–8, принимаем за начальную вершину.

Строим замкнутый контур в таблице 1.7 и отдельно на рисунке 1.15. Обозначим свободную вершину двойным кружком, а занятую одинарным. Около вершин напишем поставки.

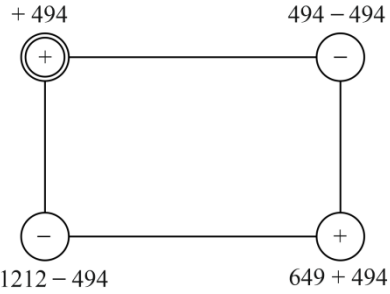


Рисунок 1.15 – Схема улучшения первоначального плана

В свободной вершине ставим знак «+», показывающий, что эту вершину необходимо загрузить. В следующей по контуру вершине ставим знак «–», затем опять знак «+» и т. д. Находим наименьшую перевозку и у вершины со знаком «–» она равна 494 м^3. Величину этой перевозки вычитаем у всех отрицательных вершин и прибавляем к положительным.

В результате внутри контура произойдет перераспределение плана, а клетка 2–23 станет свободной. Определим, насколько экономичным будет полученное перераспределение земляных масс.

До перераспределения условные затраты на перевозку

$$494 \cdot 21 + 649 \cdot 22 + 30 \cdot 1212 = 61\,012 \text{ ед.};$$

после распределения они стали равны

$$494 \cdot 26 + 1143 \cdot 22 + 718 \cdot 30 = 59\,530 \text{ ед.},$$

т. е. достигнуто уменьшение условных затрат на 61 012 – 59 530 = 1482 ед.

Измененное распределение земляных масс заносится в новую матрицу и проводится проверка оптимальности нового плана методом потенциалов. Если этот план окажется не оптимальным, делают следующую итерацию улучшения плана. Такие итерации повторяются до получения оптимального распределения земляных масс.

На основании полученного решения транспортной задачи, согласно матрице, составляется картограмма распределения земляных масс (рисунок 1.16). При сравнительно небольших матрицах (m и n, но не более 5) задача решается довольно просто вручную, и для получения оптимального плана обычно достаточно выполнить 3–5 итераций. При больших значениях m и n требуется выполнить много итераций, сами вычисления становятся более

громоздкими. Такие задачи необходимо решать с применением электронных вычислительных машин.

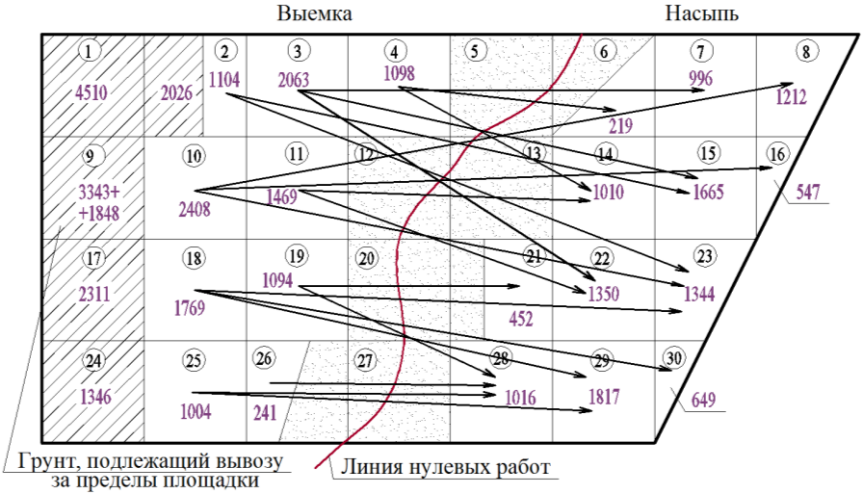


Рисунок 1.16 – Картограмма распределения земляных масс
(решение транспортной задачи методом двойного предпочтения)

Разработка грунта в рассматриваемой части площадки выполняется скрепером. Рядом со стрелками, иллюстрирующими направления транспортировки грунта из района выемки в район насыпи, указывается объем перемещаемого грунта.

2 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БУЛЬДОЗЕРНЫХ И СКРЕПЕРНЫХ РАБОТ

2.1 Определение средневзвешенной дальности возки сбалансированного грунта

По способам перемещения грунта планируемую площадку можно разделить на *сбалансированную часть*, где грунт выемки направляется в насыпь в пределах площадки, и *несбалансированную*, излишний грунт из которой вывозится за пределы строительной площадки или недостающий грунт завозится на площадку из карьера.

В сбалансированной части площадки определяют средневзвешенную дальность транспортировки грунта из выемки в насыпь. В отдельных случаях, по указанию преподавателя, следует наметить варианты механизации планировки площадки в сбалансированной или несбалансированной частях и выбрать наиболее целесообразный из них на основе технико-экономического сравнения.

Чтобы правильно выбрать тип машин для разработки и транспортировки сбалансированной части грунта, необходимо определить средневзвешенное расстояние его транспортировки

$$l_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^n q_i l_i}{\sum_1^n q_i}, \qquad (2.1)$$

где n – количество отдельных участков на площадке (удобнее всего за участок принять элементарную фигуру);

q_i – объем грунта, перемещаемый из определенного участка выемки в определенный участок насыпи;

l_i – среднее расстояние перемещения грунта из определенного участка выемки в определенный участок насыпи (ориентировочно принимается равным расстоянию между центрами тяжести указанных участков).

Значения q_i берут из баланса земляных масс, значение l_i – из схемы направлений транспортирования грунта.

Определение средневзвешенных расстояний транспортировки грунта удобнее всего вести в табличной форме. Форма таблицы и пример ее заполнения приведены в приложении Г.

При определении средневзвешенных расстояний исключаются те участки на площадке, в которых грунт несбалансирован.

Так, в приведенном примере (см. приложение Г) исключены фигуры 1, 9, 17, 24 и несбалансированная часть фигуры 2 (см. рисунок 1.13, раздел 1); при расстоянии транспортирования грунта до 50 м принят бульдозер, а с 80 м и выше – скрепер. В этом случае средневзвешенное расстояние транспортирования:

– для бульдозерного комплекта –

$$l_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^{11} q_i l_i}{\sum_1^{11} q_i} = \frac{46\,637}{1\,185} = 39,4 \approx 39 \text{ м};$$

– для скреперного комплекта –

$$l_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^{21} q_i l_i}{\sum_1^{21} q_i} = \frac{1\,971\,330}{12\,277} = 160,6 \approx 161 \text{ м}.$$

2.2 Выбор машин для производства земляных работ

При вертикальной планировке строительных площадок земляные работы чаще выполняются бульдозером, скрепером или экскаватором с автосамосвалами. Первоначальная планировка производится бульдозерами. Ими создается рельеф, обеспечивающий возможность начала работы скреперов. В дальнейшем бульдозерами выполняются работы, связанные со срезкой и перемещением грунта на короткие расстояния (до 50–100 м). На более дальних перемещениях используются скреперы.

Бульдозеры используются обычно в районе нулевых работ, где расстояние перемещения грунта не превышает рациональную область применения машин. На остальной сбалансированной части площадки целесообразно запроектировать разработку и транспортировку грунта скрепером. Здесь расстояния перемещения грунта будут определять мощность и тип применяемого скрепера [9].

Выбор машин в общем случае производится в зависимости от объемов работ, рабочих отметок, средневзвешенных расстояний транспортировки и вида грунта в соответствии с рекомендациями приложения Д.

Для бульдозерного комплекта следует привести тип бульдозера; марку трактора и мощность его двигателя; параметры отвала (высота, ширина захвата, наибольшее заглубление, максимальная высота подъема, угол установки в плане к продольной оси трактора); тип ходовой части; скорость

движения на всех передачах; тип управления рабочим органом; габаритные размеры.

Для скреперного комплекта указываются марка скрепера и емкость ковша; характер агрегатирования, марка и мощность тягача; система управления; скорость движения на всех передачах; ширина захвата; наибольшая ширина резания; габаритные размеры.

При выборе рабочего оборудования экскаватора следует ориентироваться на оборудование прямой лопаты. Однако в случае легких песчаных грунтов, а также высокого уровня грунтовых вод может оказаться целесообразным использовать экскаватор с оборудованием драглайна.

Экскаватор с оборудованием обратной лопаты применяется значительно реже, когда невозможно использовать экскаватор с оборудованием прямой лопаты или драглайна (например, в тяжелых грунтах при сильном притоке грунтовых вод). Таким образом, если полагать, что в рассматриваемом примере имеются обычные связные грунты, а грунтовые воды не препятствуют их разработке, то для работы в несбалансированной части выемки может быть принят одноковшовый экскаватор, оборудованный прямой лопатой.

Для экскаваторного комплекта следует привести марку экскаватора и емкость ковша; систему управления; тип ходовой части; удельное давление на грунт; скорость движения экскаватора; параметры рабочих органов экскаватора (длина стрелы, рукояти, наибольший радиус копания, радиус выгрузки, наибольшая высота выгрузки, глубина копания, угол наклона стрелы и т. д. в зависимости от вида рабочего оборудования) [9, 14].

2.3 Определение расчетной траектории движения землеройно-транспортных машин

Траектория движения бульдозеров и скреперов зависит от расстояния перемещения грунта, характера и взаимного расположения выемки и насыпи. *Бульдозер может иметь две разновидности траектории движения: без поворотов и с поворотами* (рисунок 2.1, *а*, *б*). При наличии поворотов движение бульдозера в порожнем направлении осуществляется также отвалом вперед. В этом случае создаются лучшие условия для работы машиниста и механизмов, скорости движения будут выше. *Обычно движение с поворотами начинают применять при расстоянии перемещения грунта 50 м и более* [19].

Скрепер имеет три разновидности траектории движения: по эллипсу (см. рисунок 2.1, *б*), *по двухсторонней петле* (рисунок 2.1, *в*) *и челночную* (рисунок 2.1, *г*).

Чаще всего применяется траектория движения по эллипсу. Движение по двухсторонней петле целесообразно в случае устройства специальных

путей (например, в слабонесущих грунтах) для перемещения скрепера в груженом и порожнем направлениях, по челночной – при наличии чередующихся насыпей и выемок. Для работы по челночной схеме достаточно двух выемок и одной насыпи (например, как на рисунке 2.1, *г*) или двух насыпей и одной выемки посередине. В этом случае скрепер проходит лежащую посередине насыпь (выемку) без разворота, а один цикл его работы включает два или более процесса погрузки и разгрузки [12].

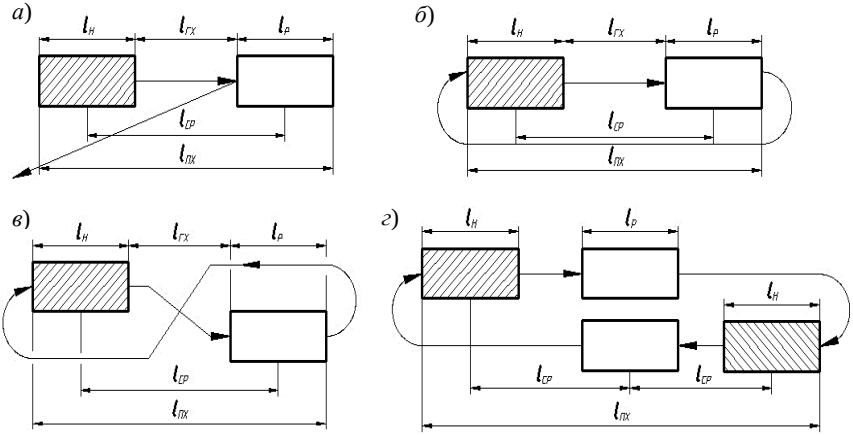


Рисунок 2.1 – Траектории движения землеройно-транспортных машин при планировке площадки: *l* – линия нулевых работ, $l_{ср}$ – среднее расстояние транспортирования грунта; $l_н$, $l_р$ – длина пути набора и разгрузки грунта; $l_{г.х}$, $l_{п.х}$ – длина груженого и порожнего хода

Во всех случаях работы бульдозера и скрепера набор и разгрузка грунта осуществляются на прямолинейном участке, а все повороты производятся при незагруженной грунтом машине.

Длина отдельных элементов траектории движения бульдозера или скрепера зависит от среднего расстояния транспортирования грунта.

Длина груженого $l_{г.х}$ и порожнего $l_{п.х}$ хода (см. рисунок 2.1):

$$l_{г.х} = l_{ср} - \left(\frac{l_н + l_р}{2} \right); \qquad (2.2)$$

$$l_{п.х} = l_{ср} + \left(\frac{l_н + l_р}{2} \right), \qquad (2.3)$$

где $l_{ср}$ – среднее расстояние транспортирования грунта (может быть принято в расчетах равным определенному ранее средневзвешенному расстоянию), м;

$l_н$, $l_р$ – длина пути набора и разгрузки грунта, м,

– для бульдозера –

$$l_н = \frac{h_{от}^2}{2h_с K_{пр} K_р}, \quad (2.4)$$

$$l_р = \frac{h_{от}^2 \xi}{2h_р K_{пр} K_р}; \quad (2.5)$$

– для скрепера –

$$l_н = \frac{qK_н K_п}{0,7bh_с K_р} + 0,5 + l_с, \quad (2.6)$$

$$l_р = \frac{qK_н}{bh_р} + l_с, \quad (2.7)$$

где $h_{от}$ – высота отвала бульдозера, м (берется из технических характеристик машин);

$h_с$ – толщина стружки грунта (глубина резания) (для бульдозера и скрепера ориентировочно берется по приложению И, затем при производстве тяговых расчетов уточняется), м;

$K_{пр}$ – коэффициент, принимаемый равным для связных грунтов 0,75–0,85, для несвязных – 1,15–1,5 [12];

$K_р$ – коэффициент первоначального разрыхления грунтов,

$$K_р = \frac{100 + n}{100}, \quad (2.8)$$

n – первоначальное разрыхление грунта, % (берется по данным приложения Ж);

ξ – коэффициент потерь грунта при перемещении бульдозером,

$$\xi = 1 - 0,005 l_{ср}; \quad (2.9)$$

$h_р$ – толщина слоя разгружаемого грунта, м; для бульдозера выбирается самостоятельно (рекомендуется в пределах 0,2–0,5) для скрепера – $1,5h_с$;

q – паспортная вместимость ковша скрепера, м^3;

$K_н$ – коэффициент наполнения ковша скрепера грунтом (зависит от вида грунта и условия работы скрепера, может быть взят по данным таблиц приложения Е). В случае работы скрепера в наклонном за-

бое значение коэффициента $K_н$ увеличивается в соответствии с таблицей Е.2;

$K_п$ – коэффициент, учитывающий потери при образовании призмы волочения (принимается равным 1,2–1,5, последняя цифра для сыпучих грунтов);

0,7 – коэффициент, учитывающий неравномерную толщину стружки грунта при наборе его скрепером;

b – ширина ковша скрепера, м (берется из технических характеристик машин);

$l_с$ – длина тягача со скрепером, м.

Применительно к рассматриваемому нами примеру траектория движения бульдозера Д3-29 принята по схеме рисунка 2.1, *а* (без поворота), а траектория движения скрепера Д3-12 – по схеме рисунка 2.1, *б* (по эллипсу).

Основные характеристики элементов траектории бульдозера Д3-29: $h_{от} = 0,8$ м (из характеристики бульдозера); $h_{от} = 0,12$ м (из приложения И для суглинков и трактора мощностью 55 л. с.); $n = 20$ %, взято из приложения Ж для легких суглинков; $\xi = 1 - 0,005 \cdot 39 = 0,805 \approx 0,8$; $h_р = 0,3$ м; $K_{пр} = 0,8$.

Следовательно,

$$l_н = \frac{0,8^2}{2 \cdot 0,12 \cdot 0,8 \cdot 1,2} = 2,8 \approx 3 \text{ м};$$

$$l_р = \frac{0,8^2 \cdot 0,8}{2 \cdot 0,3 \cdot 0,8} = 1,06 \approx 1 \text{ м};$$

$$l_{г.х} = 39 - \left(\frac{3+1}{2} \right) = 37 \text{ м};$$

$$l_{п.х} = 39 + \left(\frac{3+1}{2} \right) = 41 \text{ м}.$$

Основные характеристики элементов траектории скрепера Д3-12: $q = 6$ м^3; $b = 2,67$ м; $l_с = 12,9$ м (из характеристики скрепера); работа скрепера принята по наклонному забою с уклоном в 8 %. В этом случае для легких суглинков $K_н = 1,1 \cdot 1,09 = 1,2$ (по приложению Е); $h_с = 0,12$ м; $K_р = 1,2$; $K_п = 1,3$; $h_р = 1,5h_с = 1,5 \cdot 1,2 = 0,18$ м. Окончательно:

$$l_н = \frac{6 \cdot 1,2 \cdot 1,3}{0,7 \cdot 2,67 \cdot 0,12 \cdot 1,2} + 0,5 + 12,9 = 48,1 \approx 48 \text{ м};$$

$$l_р = \frac{6 \cdot 1,2}{2,67 \cdot 0,18} + 12,9 = 27,9 \approx 28 \text{ м};$$

$$l_{\text{г.х}} = 161 - \left(\frac{48+28}{2}\right) = 123\text{ м};$$

$$l_{\text{п.х}} = 161 + \left(\frac{48+28}{2}\right) = 199\text{ м}.$$

2.4 Определение количества ведущих машин для земляных работ по планировке площадки

Вначале определяется эксплуатационная производительность выбранных ранее землеройных и землеройно-транспортных машин, а затем необходимое их количество.

Сменная эксплуатационная производительность, м^3/смену,

$$\Pi_{\text{с}} = 8\Pi_{\text{ч}}, \tag{2.10}$$

где 8 – продолжительность рабочей смены, ч;

$\Pi_{\text{ч}}$ – часовая эксплуатационная производительность машины, м^3/ч,

– для скрепера и экскаватора –

$$\Pi_{\text{ч}} = \frac{3600}{T_{\text{ц}}} q \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{р}}} K_{\text{в}}; \tag{2.11}$$

– для бульдозера –

$$\Pi_{\text{ч}} = \frac{3600}{T_{\text{ц}}} q \frac{K_{\text{в}}}{K_{\text{р}}}, \tag{2.12}$$

где $T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла машины, с;

q – количество грунта в плотном теле, перемещаемое машиной к месту разгрузки за один цикл, м^3. Для скрепера и экскаватора q берется по паспортной характеристике машины, для бульдозера –

$$q = \frac{bh_{\text{от}}^2 \xi}{2K_{\text{пр}} K_{\text{р}}}; \tag{2.13}$$

$K_{\text{в}}$ – коэффициент использования рабочего времени машины (принимается: для скрепера – 0,8; для бульдозеров на тракторе мощностью до 180 л. с. – 0,8: на тракторе большей мощности – 0,75; для экскаватора – по данным таблицы К.2).

Продолжительность цикла машины:

– для скрепера –

$$T_{\text{ц}} = \frac{l_{\text{н}}}{v_{\text{н}}} + \frac{l_{\text{г.х}}}{v_{\text{г.х}}} + \frac{l_{\text{р}}}{v_{\text{р}}} + \frac{l_{\text{п.х}}}{v_{\text{п.х}}} + t_{\text{п}} + 2t_{\text{пов}}; \qquad (2.14)$$

– для бульдозера –

$$T_{\text{ц}} = \frac{l_{\text{н}}}{v_{\text{н}}} + \frac{l_{\text{г.х}}}{v_{\text{г.х}}} + \frac{l_{\text{р}}}{v_{\text{р}}} + \frac{l_{\text{п.х}}}{v_{\text{п.х}}} + t_{\text{п}} + 2t_{\text{пов}} + t_{\text{о}}, \qquad (2.15)$$

где $l_{\text{н}}$, $l_{\text{г.х}}$, $l_{\text{р}}$, $l_{\text{п.х}}$ – длина пути соответственно набора, груженого хода, разгрузки грунта и порожнего хода землеройно-транспортной машины, м; для бульдозера при отсутствии особых требований к плотности отсыпаемого грунта принимается $l_{\text{р}} = 0$;

$v_{\text{н}}$, $v_{\text{г.х}}$, $v_{\text{р}}$, $v_{\text{п.х}}$ – скорость передвижения землеройно-транспортной машины, м/с, соответственно при наборе, груженом ходе, разгрузке и порожнем ходе (принимается на основании тяговых расчетов);

$t_{\text{п}}$ – время на переключение передач (принимается для скрепера 6 с, для бульдозера 4–5 с);

$t_{\text{пов}}$ – время на один поворот (принимается для скрепера 15–20 с, для бульдозера, в случае работы с поворотами, 5–8 с);

$t_{\text{о}}$ – время на опускание отвала (принимается 1–2 с).

Для *экскаватора* значение $T_{\text{ц}}$ берется из паспортных характеристик машины или по данным приложения К.

При определении производительности экскаватора, оборудованного сменными ковшами, значение q уточняется с учетом вида грунта и условий работы машины.

В соответствии с рассматриваемым примером приняты следующие условия работы строительных машин.

1 *Скреперные работы*: скрепер ДЗ-12; q = 6 м^3; $K_{\text{н}}$ = 1,2; $K_{\text{р}}$ = 1,2; $l_{\text{г.х}}$ = = 123 м; $l_{\text{р}}$ = 28 м; $l_{\text{п.х}}$ = 199 м; $v_{\text{н}}$ = 0,525 м/с; $v_{\text{г.х}}$ = $v_{\text{р}}$ = 1,145 м/с; $v_{\text{п.х}}$ = = 1,48 м/с; $K_{\text{в}}$ = 0,8; $t_{\text{п}}$ = 6 с; $t_{\text{пов}}$ принято равным 15 с.

Следовательно,

$$T_{\text{ц}} = \frac{48}{0,525} + \frac{123}{1,145} + \frac{28}{1,145} + \frac{199}{1,48} + 6 + 2 \cdot 15 = 393,9 \approx 394 \text{ с};$$

$$\Pi_{\text{ч}} = \frac{3600}{394} \cdot 6 \cdot \frac{1,2}{1,2} \cdot 0,8 = 43,8 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Pi_{\text{с}} = 8 \cdot 43,8 = 350 \text{ м}^3/\text{смену}.$$

2 *Бульдозерные работы*: марка бульдозера ДЗ-29 на тракторе Т-74; схема движения бульдозера – без поворотов; принято, что толщина слоя раз-

грузки грунта не должна превышать 0,3 м; $h_{от}$ = 0,8; $K_р$ = 1,2; ξ = 0,8; $K_{пр}$= 0,8; $l_н$ = 6 м; $l_р$ = 1 м; $l_{г.х}$ = 37 м; $l_{п.х}$ = 41 м; b = 2,5 м; $v_н$ = 0,996 м/с; $v_{г.х}$ = = $v_р$ = 1,51 м/с; $v_{п.х}$ = 1,51 м/с; $K_в$ = 0,8; $t_{пов}$ = 0; $t_п$ = 4 с; $t_о$ = 1 с.

Значит,

$$q = \frac{2,5 \cdot 0,8^2 \cdot 0,8}{2 \cdot 0,8 \cdot 1,2} = 0,666 \approx 0,67 \text{ м}^3;$$

$$T_ц = \frac{6}{0,996} + \frac{37}{1,51} + \frac{1}{1,51} + \frac{41}{1,51} + 4 + 2,0 + 1 = 63,4 \approx 63 \text{ с};$$

$$П_ч = \frac{3600}{63} \cdot 0,67 \cdot \frac{0,8}{1,2} = 25,6 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$П_с = 8 \cdot 25,6 = 205 \text{ м}^3/\text{смену}.$$

3 *Экскаваторные работы*: экскаватор одноковшовый марки ЭО-255 с рабочим оборудованием прямой лопаты; q = 0,25 м^3; грунт – легкий суглинок, относится к первой группе при разработке одноковшовым экскаватором (приложение Н).

Отсюда следует

$$T_ц = 24 \text{ с}; \; K_н = 1,1; \; K_р = 1,2; \; K_в = 0,66;$$

$$П_ч = \frac{3600}{24} \cdot 0,25 \cdot \frac{1,1}{1,2} \cdot 0,66 = 22,6 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$П_с = 8 \cdot 22,6 = 181 \text{ м}^3/\text{смену}.$$

По известным объемам V, срокам производства земляных работ на строительной площадке T, а также сменной производительности $П_с$ и сменности K землеройно-транспортных машин определяется их *необходимое количество в комплекте N*

$$N = \frac{V}{T П_с K}. \qquad (2.16)$$

После округления количества машин до целых значений уточняется срок производства земляных работ решением формулы (2.16) относительно T.

В соответствии с рассматриваемым примером имеем:

– скреперные работы –

$V_к$ = 12 277 м^3, K = 2 смены, $П_с$ = 350 м^3/смену;

– бульдозерные работы –

$V_к$ = 1 185 м^3, K = 2 смены, $П_с$ = 205 м^3/смену;

– экскаваторные работы –

$V_к$ = 13 546 м^3, K = 2 смены, $П_с$ = 181 м^3/смену.

Если срок производства земляных работ T задан 10 рабочих суток и допускается одновременная работа всех машин, то необходимое их количество в комплектах составит:

– скреперный комплект –

$$N = \frac{12\,277}{10 \cdot 350 \cdot 2} = 1,75 \approx 2 \text{ машины;}$$

– бульдозерный комплект –

$$N = \frac{1185}{10 \cdot 805 \cdot 2} = 0,29, \text{ принята 1 машина;}$$

– экскаваторный комплект –

$$N = \frac{13\,546}{10 \cdot 181 \cdot 2} = 3,7 \approx 4 \text{ машины.}$$

Полученное количество экскаваторов при планировке площадок не применяется, обычно ограничиваются одной-двумя машинами, поэтому в нашем примере следовало остановиться на более производительной машине, например принимаемой ранее ЭО-656. В этом случае

$П_с$ = 536 м^3/смену;

N = 2 машины.

Уточненный срок производства работ комплектами механизмов составит:

– скреперный комплект –

$$T = \frac{V}{N П_с K} = \frac{12\,277}{2 \cdot 350 \cdot 2} = 8,8 \approx 9 \text{ раб. суток;}$$

– бульдозерный комплект –

$$T = \frac{V}{N П_с K} = \frac{1\,185}{1 \cdot 205 \cdot 2} = 2,9 \approx 3 \text{ раб. суток;}$$

– экскаваторный комплект –

$$T = \frac{V}{N П_с K} = \frac{13\,546}{2 \cdot 536 \cdot 2} = 6,3 \approx 6 \text{ раб. суток.}$$

2.5 Определение количества вспомогательных машин и состава бригад для земляных работ по планировке площадки

При разработке грунтов скреперами в состав комплекта машин вводятся рыхлитель (если категория грунтов II и выше) и трактор-толкач. Категории грунтов по трудности разработки приведены справочно в приложении Н.

В качестве рыхлителя целесообразно использовать бульдозер-рыхлитель с навесными зубьями. *Часовая производительность рыхлителя*, м^3/ч,

$$\Pi_{\text{ч}} = \frac{900 \nu_{\text{р}} b h_{\text{р}} K_{\text{в}}}{K_1 K_2}, \qquad (2.17)$$

где $\nu_{\text{р}}$ – расчетная скорость движения рыхлителя, км/ч ($\nu_{\text{р}} \sim 0{,}8\,\nu_1$);

ν_1 – скорость тягача рыхлителя на первой передаче;

b – ширина захвата рыхлителя, м;

$h_{\text{р}}$ – расчетная глубина рыхления, м (принимается равной 0,6–0,8 от максимального заглубления зубьев рыхлителя и увязывается с толщиной стружки грунта, снимаемого скрепером);

$K_{\text{в}}$ – коэффициент использования рабочего времени рыхлителя, $K_{\text{в}} = 0{,}8$;

K_1 – коэффициент, учитывающий характер проходов (равен 1 при параллельных срезах или 2 – при перекрестных);

K_2 – число проходов по одному и тому же резу (принимается равным 1–2);

Необходимые данные по рыхлителям могут быть взяты из приложения И. В качестве толкача обычно используется бульдозер.

Количество скреперов N, обслуживаемых одним толкачом,

$$N = \frac{T_{\text{ц}}}{t_{\text{ц}}}, \qquad (2.18)$$

где $T_{\text{ц}}$ и $t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла соответственно скрепера и толкача, с,

$$t_{\text{ц}} = \frac{l_{\text{н}}}{\nu_{\text{н}}} + \frac{l_{\text{н}}}{\nu_{\text{о.х}}} + t_{\text{п}} + t_{\text{м}}, \qquad (2.19)$$

$\nu_{\text{о.х}}$ – скорость обратного хода толкача, м/с (равна максимальной задней скорости трактора);

$t_{\text{м}}$ – время, затрачиваемое толкачом на маневры и ожидание скрепера (равно 15–25 с).

При разработке грунтов экскаватором в состав комплекта вводятся транспортные машины, чаще всего самосвалы.

В курсовом проекте необходимо установить грузоподъемность, тип и количество автосамосвалов.

Грузоподъемность автосамосвала, т, определяется из условия вместимости его кузова не менее пяти ковшей экскаваторов при их вместимости $\leq 0{,}5$ м^3 и не менее трех ковшей – при их вместимости более 0,5 м^3.

В этом случае требуемая *грузоподъемность автосамосвала*

$$Q = pq\frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{р}}}\gamma_0, \tag{2.20}$$

где p – минимальное количество ковшей, вмещаемых в кузов самосвала;

γ_0 – объемная масса грунта, т/м^3.

Другие обозначения приводились ранее.

Получив значение Q, по справочникам выбирают тип автосамосвала, имеющий грузоподъемность не менее расчетной.

Необходимое *количество автосамосвалов N* для работы в комплекте с одним экскаватором определяется из условия непрерывной погрузки грунта:

$$N = \frac{T_{\text{ц.т}}}{t}, \tag{2.21}$$

где $T_{\text{ц.т}}$ – продолжительность цикла работы, мин, транспортной единицы,

$$T_{\text{ц.т}} = t_{\text{у.п}} + t_{\text{п}} + 60\frac{2L}{\nu} + t_{\text{у.р}} + t_{\text{р}} + t_{\text{м.п}} + t_{\text{м.р}} + t_{\text{п.с}}, \tag{2.22}$$

$t_{\text{у.п}}, t_{\text{у.р}}$ – соответственно расчетная продолжительность установки самосвала под погрузку и разгрузку, мин;

$t_{\text{п}}$ – продолжительность погрузки, мин;

L – среднее расстояние транспортирования грунта, км;

ν – средняя расчетная скорость движения автосамосвала, км/ч (в груженом и порожнем направлениях);

$t_{\text{р}}$ – расчетная продолжительность разгрузки автосамосвала, мин;

$t_{\text{м.п}}, t_{\text{м.р}}$ – соответственно расчетная продолжительность маневров самосвала на погрузке и разгрузке, мин;

$t_{\text{п.с}}$ – время на пропускание встречного автосамосвала (при одностороннем движении равно 1 мин).

Значения ν, $t_{\text{р}}$, $t_{\text{у.п}}$, $t_{\text{у.р}}$, $t_{\text{м.п}}$, $t_{\text{м.р}}$ приведены в приложении К.

Продолжительность погрузки $t_{\text{п}}$, мин, транспортной единицы

$$t_{\text{п}} = \frac{n'}{nK_{\text{т}}}, \tag{2.23}$$

где n' – количество ковшей грунта, загружаемого в кузов транспортной единицы,

$$n' = \frac{QK_{\text{р}}}{\gamma_0 q K_{\text{н}}}; \qquad (2.24)$$

n – количество циклов экскаватора в 1 мин,

$$n = \frac{60}{T_{\text{ц}}}, \qquad (2.25)$$

$T_{\text{ц}}$ – продолжительность одного цикла экскаватора, мин;

$K_{\text{т}}$ – коэффициент транспорта, принимаемый равным 0,85–0,89 при $n' \le 3$ и 0,87–0,94 при $n' > 3$.

Полученное по формуле (2.24) значение n' округляется до целых единиц таким образом, чтобы перегруз автосамосвала не превысил 5 %, а недогруз – 10.

По известному комплектному составу машин на основании данных приложения К устанавливается состав бригад. Все данные по комплектам машин представляются в табличной форме.

Для рассматриваемого примера в скреперном комплекте принят навесной рыхлитель Д-Д9С (см. приложение И), а также перекрестные резы с двойным проходом рыхлителя по одному резу.

В соответствии с изложенным выше: $\nu_{\text{р}} = 0{,}8$; $\nu_1 = 0{,}8 \cdot 2{,}36 = 1{,}89$ км/ч; $b = 1{,}9$ м; $h_{\text{р}}$ принято 0,7; $h_{\max} = 0{,}7 \cdot 0{,}5 = 0{,}35$ м $\approx 3h_{\text{с}}$; $K_{\text{в}} = 0{,}8$; $K_1 = 2$; $K_2 = 2$.

Часовая $\text{П}_{\text{ч}}$ *и сменная* $\text{П}_{\text{с}}$ *производительность рыхлителя*

$$\text{П}_{\text{ч}} = \frac{900 \cdot 1{,}89 \cdot 1{,}9 \cdot 0{,}35 \cdot 0{,}8}{2 \cdot 2} = 226 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\text{П}_{\text{с}} = 8 \cdot 226 = 1810 \text{ м}^3/\text{смену}.$$

Занятость рыхлителя $З_{\text{р}}$ определяется как отношение суточной производительности скреперного комплекта к производительности рыхлителя.

При работе в две смены –

$$З_{\text{р}} = \frac{350 \cdot 2 \cdot 2}{1810 \cdot 2} = 0{,}414 \approx 41 \text{ %},$$

при работе в одну смену –

$$З_{\text{р}} = \frac{350 \cdot 2 \cdot 2}{1810} = 0{,}83 \approx 83 \text{ %}.$$

Толкачом для скрепера марки Д3-12 с вместимостью ковша 6 м^3 может быть трактор мощностью 100 л. с. (в соответствии с данными приложения И такой трактор рекомендуется как тягач для данного скрепера). Применен трактор Т-100 с бульдозерным оборудованием Д3-271. При расчете продолжительности цикла $t_ц$ толкача по формуле (2.19) получаем: $l_н$ = 48 м; $\nu_н$ = = 0,525 м/с; $t_п$ – принято равным 4 с; $T_ц$ = 394 с; $\nu_{о.х}$ – принято 6,32 км/ч = = 1,75 м/с; $t_м$ – принято равным 15 с.

Тогда

$$t_ц = \frac{48}{0,525} + \frac{48}{1,75} + 4 + 15 = 137,9 \approx 138 \text{ с}.$$

Количество скреперов, обслуживаемых одним толкачом,

$$N = \frac{394}{138} = 2,85 \approx 3.$$

Занятость толкача при обслуживании комплекта из двух скреперов

$$З_т = \frac{2}{2,85} = 0,70 \approx 70\ \%.$$

Если попытаться использовать один и тот же рыхлитель и как толкач, то общая занятость в течение смены (даже при двухсменном рыхлении) превысит 100 %, т. е. $З_о = З_р + З_т = 41 + 70 = 111$ %. Учитывая некоторые неудобства с организацией работ по одновременному рыхлению и подталкиванию скреперов, в нашем примере необходимо для этих процессов выбрать отдельные машины.

В рассматриваемом примере для принятого экскаватора ЭО-656 с вместимостью ковша 0,65 м^3 требуемая *минимальная грузоподъемность автосамосвала*

$$Q = 4 \cdot 0,65 \cdot \frac{1,1}{1,2} \cdot 1,6 = 3,8 \text{ т},$$

где p = 4; γ_0 = 1,6 т/м^3.

Принят автосамосвал МАЗ-500 грузоподъемностью 6 т.

Для определения количества автосамосвалов N принято среднее расстояние транспортирования грунта 1,6 км, двухстороннее движение транспорта, подача автосамосвала под погрузку без осаживания назад и под разгрузку с осаживанием назад.

В этом случае L = 1,6 км; ν = 19,7 км/ч; $t_{у.п}$ = 0,3 мин; $t_{у.о}$ = 0,6 мин; $t_р$ = =1 мин; $t_{м.п}$ = 0,25 мин; $t_{м.р}$ = 0,8 мин; $t_{п.с}$ = 0.

Количество ковшей грунта n', загружаемого в МАЗ-500 (по формуле (2.24)),

$$n' = \frac{6 \cdot 1,2}{1,6 \cdot 0,65 \cdot 1,1} = 6,3;$$ принято 6 ковшей,

а недогрузка – $\frac{6,3-6}{6,3} \cdot 100 = 48\ \%,$ что допустимо.

Количество циклов экскаватора в 1 мин

$$n = \frac{60}{21} = 2,85,$$

где 21 – продолжительность одного цикла экскаватора ЭО-656, с (приложение Л).

Приняв $K_т = 0,9$, определяем *продолжительность погрузки автосамосвала*

$$t_п = \frac{6}{2,85 \cdot 0,9} = 2,33 \text{ мин.}$$

Следовательно, продолжительность цикла работы автосамосвала МАЗ-500 $T_{ц.т}$ и необходимое количество машин N:

$$T_{ц.т} = 0,3 + 2,33 + 60 \cdot \frac{2 \cdot 1,6}{19,7} + 0,6 + 1,0 + 0,25 + 0,8 + 0 = 14,98 \text{ мин};$$

$$N = \frac{14,98}{2,33} = 6,4 \approx 7.$$

При расчете предполагалось, что транспортный процесс является равномерным. В действительности, как продолжительность цикла работы автомашин, так и время погрузки будут различны и иметь вероятностный характер. Это обстоятельство позволяет применить для расчета транспортного процесса математический аппарат теории массового обслуживания.

Для обслуживания двух работающих экскаваторов количество автосамосвалов $7 \cdot 2 = 14$, а при возможности подачи автосамосвалов под любой экскаватор $6,4 \cdot 2 = 12,8 \approx 13$.

Окончательный состав машин и количество людей в комплектах рассматриваемого примера приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – **Состав бульдозерного, скреперного и экскаваторного комплектов**

Комплект	Машина		Люди			
	Наименование, шифр	Количество	Профессия	Разряд	Количество	
					на машине	всего
Бульдозерный	Бульдозер ДЗ-29	1	Машинист бульдозера	4	1	1
	Итого	*1*		–	–	*1*
Скреперный	Скрепер ДЗ-12	2	Машинист скрепера	5	1	2
	Рыхлитель ДП-9С	1	Тракторист	5	1	1
	Бульдозер ДЗ-9	1	Тракторист	5	1	1
	Передвижная электростанция ЖЭС-4	1	Машинист-телефонист	4	1	1
	Итого	*5*		–	–	*5*
Экскаваторный	Экскаватор ЭО656	2	Машинист экскаватора	6	1	2
			Помощник машиниста экскаватора	5	1	2
	Автосамосвал МАЗ-500	13	Шофер	–	1	13
	Итого	*15*		–	–	*17*

2.6 Разработка операционной технологической карты работы землеройно-транспортных машин

В курсовом проекте разрабатывается операционная технологическая карта работы бульдозерного и скреперного комплектов при планировке площадки.

В технологической карте приводится план площадки с рабочими отметками и с делением на участки, разрабатываемые различными машинами, на участках стрелками наносится направление перемещения грунта (рисунки 2.2, 2.3).

В карте дается описание методов производства земляных работ с разбивкой их на захватки, наименование и техническая характеристика используемых машин, объем и срок производства работ, схемы работы землеройно-транспортных машин, данные о составе комплектов машин и обслуживающих бригад, о расходе основных эксплуатационных материалов и топлива.

В технологической карте отражаются основные положения техники безопасности при работе землеройно-транспортных машин [18–20].

Для включения в оперативную технологическую карту сведений о потребности в эксплуатационных материалах рекомендуется руководствоваться данными таблиц приложения П.



Условные обозначения:

—— – линия нулевых работ; – – – – границы рабочих участков; → – перемещение грунта скреперами; → – перемещение грунта бульдозером, заштрихованная площадь слева от линии нулевых работ – выемка, справа – насыпь

Рисунок 2.2 – План участка с рабочими отметками (на плане рабочие отметки не приведены)

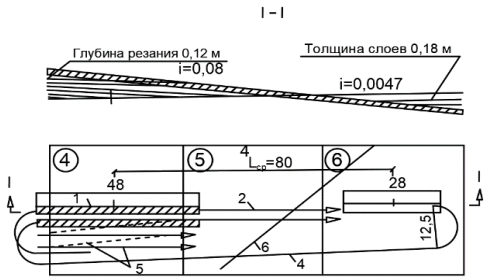


Рисунок 2.3 – Схема производства скреперных работ в квадратах 4, 6

2.7 Проектирование производства подготовительных работ

К числу подготовительных работ при планировке площадки относятся расчистка строительной площадки от леса, пней, кустарника (пилка и валка деревьев, вывозка леса, срезка кустарниковой растительности и мелкого леса, корчевка пней корней и камней и их уборка); расчистка от валунов, удаление растительного слоя и рыхление грунта.

На основании ситуационных данных на площадке, указанных в задании, устанавливаются виды расчистки и способы их выполнения.

Строевой (деловой) лес пилят мотопилами с последующей корчевкой пней. Деревья, неиспользуемые в качестве деловой древесины, валят вместе с корнями, при этом затраты энергии будут значительно меньше, чем при пилке деревьев с последующим корчеванием пней.

Для валки деревьев с корнями и корчевки отдельных пней используются навесные на тракторах корчеватели-собиратели или бульдозеры. Толщина сваливаемых деревьев (корчуемых пней) зависит от мощности трактора, плотности грунта и расположения корней в земле (рисунок 2.4).

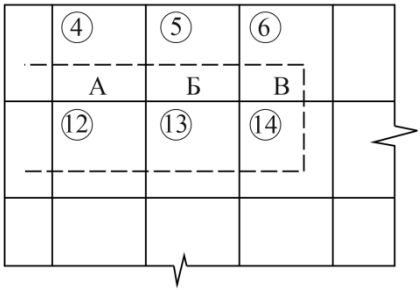


Рисунок 2.4 – Схема потока по удалению леса на строительной площадке

При валке деревьев с корневой системой, залегающей параллельно поверхности земли (ель, лиственница и др.), требуется на 20–25 % меньше затрат энергии по сравнению с деревьями такой же толщины с вертикальными корнями (сосна, дуб и др.) [3].

Корчеватели также могут производить расчистку от камней и валунов.

Для удаления мелкого леса толщиной 12–15 см и кустарника применяются кусторезы или бульдозеры. Краткая характеристика машин, применяемых для производства подготовительных работ при планировке площадки, приведена в приложении К.

После выбора машин для расчистки площадки устанавливается объем работ.

Спиливание, валка леса, удаление растительного слоя и срезка кустарника могут осуществляться по всей указанной в задании территории в пределах площадки. Корчевка пней производится только в следующих случаях:

1) в пределах разработки грунтов в выемке бульдозерами, скреперами и экскаваторами с вместимостью ковша менее 0,5 м;

2) в пределах отсыпки планировочной насыпи при ее высоте до 0,5 м.

В качестве примера рассмотрим производство работ по удалению леса в квадратах 4, 5, 6, 12, 13 и 14, в пределах которых растет деловая сосна средней густоты с диаметром стволов 20–30 см.

Планировочные работы на квадратах намечено производить скреперами и бульдозерами. Площадь участка, на котором необходимо произвести спиливание деревьев, $F_с = 6 \cdot 1600 = 9600$ м^2 = 0,96 га.

Корчевка пней производится в пределах всей выемки и насыпи с высотой до 0,5 м. Следовательно, она будет осуществляться на полных (4, 5, 12 и 13) и неполных (6 и 14) квадратах. Площадь корчевки $F_к = 4 \cdot 1600 + (0{,}75 + 0{,}2) \times 1600 = 8400$ м^2 = 0,84 га. Для спиливания деревьев принимается звено в составе трех человек с мотопилой «Дружба», а для корчевки пней – корчеватель Д210-В, обслуживаемый одним водителем.

В соответствии с производительностью машин (см. приложение К) срок выполнения подготовительных работ зависит от работы корчевателя Д-210В и составит 0,84 / 1 = 0,84 смен.

В рассматриваемом ранее примере при одновременной работе бульдозерного, скреперного и экскаваторного комплектов срок производства основных работ по планировке площадки определился скреперным комплектом и составил 9 рабочих суток или 18 смен.

Следовательно, общая продолжительность всех работ на площадке составит 18 + 0,84 = 18,84 смены или, при ведении подготовительных работ в одну смену, 9,84 суток. С учетом затрат времени на подготовку к очистке и свертывание работ срок выполнения работ принимается округленно равным 10 суткам.

Для поточного ведения работ вся залесенная территория делится на два участка (см. рисунок 2.4) шириной по 40 м и захватки-квадраты. Спиливание деревьев начинается с квадрата 4, затем 5, 6, 14, 13 и 12.

Вслед по захваткам осуществляется трелевка спиленного леса, корчевка пней и их уборка. Для удаления мелких корней, оставшихся после срезки кустарника и мелколесья в местах разработки выемки скреперами и бульдозерами, производится предварительное одноразовое рыхление грунта на глубину до 0,5 м.

При необходимости разработки плотных грунтов производится их многократное послойное рыхление.

Порядок расчетов при предварительном одноразовом рыхлении грунта аналогичен порядку расчетов при многократном послойном, изложенном ранее.

3 ТЕХНОЛОГИЯ ВЕДЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОТЛОВАНОВ И ТРАНШЕЙ

3.1 Определение объемов земляных масс при отрывке котлована под здание

При отрывке котлована под здание и траншей для коммуникаций в общем случае объем земляных работ

$$V_к = \frac{h_{ср}}{6}\left(F_1 + F_2 + 4F_0\right), \qquad (3.1)$$

где $h_{ср}$ – средняя глубина котлована, м;

F_1, F_2, F_0 – площадь котлована соответственно понизу, поверху и посередине глубины, м^2.

Необходимо иметь в виду, что $F_0 \neq (F_1 + F_2) / 2$, поэтому F_0 следует вычислить, как и F_2, т. е. по известным сторонам внизу, показателю крутизны откоса m и глубине котлована.

За среднюю глубину котлована может быть принята его глубина в центре тяжести горизонтальной проекции котлована. Поскольку дно котлована всегда горизонтальное, а в задании указана минимальная глубина котлована, то при наклонной плоскости планировки глубина котлована в центре тяжести его горизонтальной проекции окажется больше указанной в задании.

Пример 3.1. Котлован (при заданной минимальной $h_к$ = 5 м) будет иметь максимальную глубину (рисунок 3.1)

$$h_{max} = h_{min} + L_i = 5 + 60 \cdot 0,034 = 7,04 \text{ м}.$$

Средняя глубина котлована

$$h_{ср} = \frac{\left(h_{max} + h_{min}\right)}{2} = 6,02 \text{ м}.$$

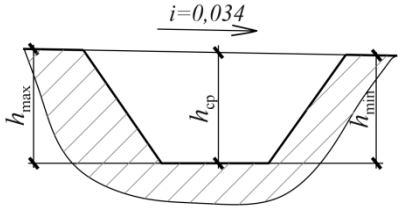


Рисунок 3.1 – Поперечный разрез котлована

При заданных на рисунке 3.2 длине a_1 и ширине фундаментов b_1 и показателе крутизны откоса для соответствующего грунта, например для насыпного грунта m =1,25 (приложение Б), **размер сторон котлована** поверху составит:

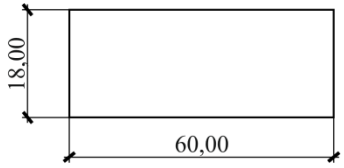


Рисунок 3.2 – Проектируемые параметры промышленного здания

$$a_2 = a_1 + 2h_2 m = 60 + 2 \cdot 6,02 \cdot 1,25 = 75,05 \text{ м};$$

$$b_2 = b_1 + 2h_2 m = 18 + 2 \cdot 6,02 \cdot 1,25 = 35,05 \text{ м};$$

$$a_0 = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{60 + 70,05}{2} = 67,52 \text{ м};$$

$$b_0 = \frac{b_1 + b_2}{2} = \frac{18 + 35,05}{2} = 25,52 \text{ м}.$$

Площадь котлована понизу, поверху и посередине будет соответственно (рисунок 3.3):

$$F_1 = a_1 b_1 = 60 \cdot 18 = 1080 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = a_2 b_2 = 75,05 \cdot 33,05 = 2480,40 \text{ м}^2;$$

$$F_0 = a_0 b_0 = 67,52 \cdot 25,52 = 1723,11 \text{ м}^2.$$

Средний объем котлована

$$V_к = \frac{h_{ср}\left(F_1 + F_2 + 4F_0\right)}{6} =$$

$$= \frac{6,02\left(1080 + 2480,4 + 4 \cdot 1723,11\right)}{6} =$$

$$= 10\,488,84 \text{ м}^3.$$

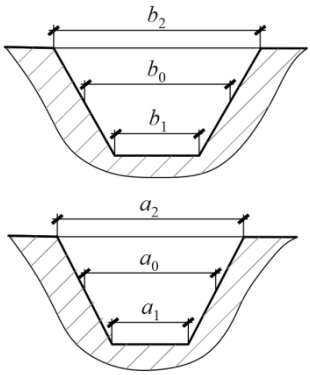


Рисунок 3.3 – Определение параметров котлована

Пример 3.2. Если имеется несколько котлованов, например, под фундаменты колонн промышленного здания, то также следует определить среднюю глубину котлованов. Так, для фундаментов, приведенных на рисунке 3.4, заданная минимальная глубина, равная 1,80 м, будет в котловане № 6.

Котлован № 5 будет иметь максимальную глубину: 1,80 + 26,5 · 0,0005 = =1,93 м.

Средняя глубина котлованов

$$h_{ср} = \frac{1,80 + 1,93}{2} = 1,87 \text{ м}.$$

При заданных длине и ширине фундаментов b_1, равных 2 м, и показателе крутизны откоса m = 0,67 средний размер сторон котлована поверху

$$b_2 = b_1 + 2h_{\text{ср}}m = 2 + 2 \cdot 1{,}87 \cdot 0{,}67 = 4{,}50 \text{ м}.$$

Средний размер сторон котлована посередине его глубины

$$b_0 = \frac{b_1 + b_2}{2} = \frac{2 + 4{,}50}{2} = 3{,}25 \text{ м}.$$

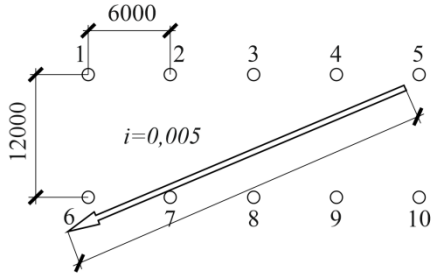


Рисунок 3.4 – Определение объемов работ при отрывке котлованов

Площадь котлована понизу, поверху и посередине составит соответственно:

$$F_1 = 2^2 = 4 \text{ м}^2;\ F_2 = 4{,}5^2 = 20{,}25 \text{ м}^2;\ F_0 = 3{,}25^2 = 10{,}56 \text{ м}^2.$$

Средний объем котлована

$$V_{\text{к}} = \frac{1{,}87}{6}\left(4 + 20{,}25 + 10{,}55\right) = 20{,}6 \text{ м}^3.$$

Объем всех котлованов $20{,}6 \cdot 10 = 206$ м^3.

В приведенном примере под каждый фундамент разрабатывался отдельный котлован. В этом случае по осям колонн (при шаге 6 м) между котлованами остается поверху промежуток нетронутого грунта длиной 1,5 м, который невозможно использовать для проезда, прохода и складирования материалов из-за опасности обрушения грунта.

Поперек пролета (при его размере 12 м) промежуток нетронутого грунта между котлованами составит 7,5 м, что достаточно для работы механизмов, проезда или складирования материалов. Поэтому в данном примере более целесообразно принять второй вариант разработки грунта сплошной траншеей вдоль ряда колонн. В этом случае могут быть использованы более дешевые (землеройно-транспортные) машины, упрощается технология разработки грунтов, хотя и возрастает их объем. Окончательное решение может быть принято после сравнения вариантов по технико-экономическим показателям [4].

3.2 Определение объемов земляных масс при отрывке траншеи для коммуникаций

Объем земляных работ при отрывке траншеи для коммуникаций

$$V_{\text{т}} = \frac{F_1 + F_2}{2} L, \tag{3.2}$$

где F_1, F_2 – площади поперечного сечения траншеи на ее концах, м^3;
L – длина траншеи, м.

В курсовом проекте глубина траншеи (за исключением канализации) принимается постоянной по всей ее длине, поэтому $F_1 = F_2$. Для канализации необходимо обеспечить уклон труб в пределах i = 0,003...0,010 от здания, поэтому глубина траншеи, а следовательно, и площадь ее поперечного сечения будут меняться. Ширина траншеи по дну для трубопроводов может быть установлена по данным приложения В.

Ширина траншеи для кабеля определяется шириной рабочего органа принимаемой землеройной машины. Для траншейных цепных многоковшовых элеваторов ширина рабочего органа составляет 0,2–0,5 м, для траншейных роторных экскаваторов – 0,6–1,5 м, для одноковшовых экскаваторов с обратной лопатой – 0,8 м.

Крутизна откосов траншей устанавливается в зависимости от ее глубины и вида грунта по приложению В.

3.3 Выбор экскаватора для производства земляных работ

3.3.1 Разработка котлованов

Для разработки котлованов применяются экскаваторы с вместимостью ковша от 0,15 до 1,5 м^3 с рабочим оборудованием прямой лопаты, обратной лопаты или драглайна [22]. Рекомендуется производить выбор экскаватора в следующем порядке.

1 По объему земляных работ на объекте подбирается вместимость ковша экскаватора. Ориентировочно можно применять при объеме земляных работ до 10 тыс. м^3 экскаватор с ковшом вместимостью до 0,35 м^3, при объеме работ от 10 до 20 тыс. м^3 – с ковшом 0,5–0,65 м^3, при объеме работ от 20 до 50 тыс. м^3 – с ковшом 0,8–1,2 м^3 и при объеме работ свыше 50 тыс. м^3 – с ковшом более 1,2 м^3.

2 После определения рациональной емкости ковша по приложению Д устанавливается определенная марка экскаватора.

3 В зависимости от глубины котлована, уровня грунтовых вод, вида грунта и сезона ведения земляных работ выбирается рабочее оборудование для принятой марки экскаватора. При этом следует иметь в виду, что предпочтительно вести разработку с оборудованием обратной лопаты или драглайна, так как в этом случае землевозный транспорт не требуется подавать в котлован. Это упрощает маневрирование транспорта и облегчает производство работ. Однако в глубоких котлованах приходится применять экскаватор с оборудованием прямой лопаты, так как глубина копания обратной лопаты или драглайна может оказаться недостаточной.

В этом случае, при расположении уровня грунтовых вод выше подошвы разработки придется производить осушение котлована (водоотлив или водопонижение). Особенно затрудняется работа прямой лопаты при разработке глины в дождливый период.

Намокание глины в котловане надолго может задержать работы из-за невозможности движения автотранспорта в самом котловане и особенно по наклонному съезду в котлован. Поэтому в таких случаях разработку котлована рационально производить драглайном, марка которого подбирается по требуемой глубине копания. В некоторых случаях вместимость ковша принятого драглайна может не соответствовать рекомендациям, указанным выше (см. пример 3.4).

Пример 3.3. Требуется подобрать экскаватор для разработки котлована в грунтах четвертой группы объемом 15 тыс. $м^3$ и глубиной 6,5 м. Грунт из котлована вывозится автотранспортом. Уровень грунтовых вод залегает ниже дна котлована. Вместимость ковша экскаватора принимается равной 0,65 $м^3$, соответственно выбирается экскаватор Э-652, который имеет рабочее оборудование обратной лопаты, драглайна и прямой лопаты.

Решение. В грунтах четвертой группы при вместимости ковша 0,65 $м^3$ эффективно может работать экскаватор с оборудованием прямой или обратной лопаты. Наибольшая глубина копания обратной лопаты при q = 0,65 $м^3$ в котловане составляет 4,0 м, наибольшая высота копания прямой лопаты при той же вместимости ковша – 7,9 м (см. приложение Л). Следовательно, при глубине 6,5 м разработку котлована экскаватором ЭО-652 можно осуществить только с оборудованием прямой лопаты.

Пример 3.4. Объем котлована и его глубина те же, что и в примере 3.3. Грунт в котловане – мягкие глины (вторая группа). Работы предполагается вести в период выпадения большого количества осадков.

Решение. В рассматриваемом случае экскаватор ЭО-652 с оборудованием прямой лопаты применять нерационально и разработку котлована следует вести драглайном.

По максимальной глубине копания в зависимости от длины, угла наклона стрелы можно применить экскаваторы ЭО-255, ЭО-303А и более мощные. Окончательный выбор марки экскаватора зависит от сроков работ.

3.3.2 Разработка траншей

Для разработки траншей применяются одноковшовые экскаваторы с оборудованием обратной лопаты или драглайна и экскаваторы продольного копания (см. приложение Л).

Достоинством многоковшовых экскаваторов является высокая производительность на единицу установочной мощности двигателя вследствие непрерывности процесса разработки грунта. Выбор типа экскаватора и его мощности зависит от общих условий производства работ, вида разрабатываемого грунта, размеров траншей, наличия грунтовых вод, а также наличия в зоне работ подземных коммуникаций.

Высокий уровень грунтовых вод может значительно усложнить производство работ из-за необходимости крепления траншеи одновременно с ее осушением. Поэтому на территориях, свободных от застройки, может оказаться целесообразным применение драглайна для рытья траншеи с наклонными стенками без крепления с осушением ее только в период укладки труб.

Пример 3.5. Требуется подобрать экскаватор для разработки траншеи под канализационный коллектор в лессовидном суглинке. Глубина траншеи колеблется от 2 до 4,5 м, ширина по дну – 0,8 м. Уровень грунтовых вод залегает ниже дна траншеи. Работы будут вестись за пределами города.

Решение. Многоковшовый экскаватор в рассматриваемом случае применить невозможно из-за большой глубины траншеи. Принимается экскаватор ЭО-505А или ЭО-652, оборудованный обратной лопатой; наибольшая глубина копания – 5,6 м.

Пример 3.6. Размеры котлована те же, что и в примере 3. Коллектор будет укладываться на территории, свободной от застройки, в обводненных мелкозернистых песках.

Решение. В рассматриваемом случае траншею рационально рыть с наклонными стенками без креплений экскаватором-драглайном. Для заданной глубины траншеи можно применить драглайн ЭО-156 или более мощный (см. приложение Л). Перед укладкой трубопровода должно осуществляться осушение котлована.

3.4 Осушение котлованов и траншей

При производстве земляных работ в водонасыщенных грунтах кроме неудобств в технологии и организации процесса возникают значительные затруднения в сохранении несущих свойств грунта основания. При незначительном притоке воды, небольшой толщине разрабатываемого водонасыщенного слоя грунта и отсутствии опасности разрушения основания применяется открытый водоотлив. В случае необходимости значительного

понижения уровня воды в грунтах для полного осушения котлована и обеспечения устойчивости его откосов производится водопонижение или глубинный водоотлив [23].

3.5 Выбор вида проходок и проектирование забоя экскаватора

Экскаватор, независимо от вида рабочего оборудования, осуществляет разработку котлованов или траншей при непрерывном передвижении вдоль их продольной оси. Вырытая за один проход экскаватора траншея называется **проходкой,** а рабочая зона экскаватора (включающая его рабочее место, часть массива грунта, отрываемого с одной стоянки, площадку для укладки грунта или установки транспорта) – **забоем**. В зависимости от условий работы экскаватора применяются лобовой (торцевой) или боковой забои, характеризующие положение экскаватора по отношению к массиву разрабатываемого грунта и транспортным средствам. В редких случаях могут применяться уширенный лобовой (торцевой) и поперечно-лобовой (торцевой) забои.

В зависимости от вида забоя проходка бывает лобовая, торцевая, боковая и т. д. Вид проходки зависит от направления разгрузки грунта экскаватором (на транспорт или в отвал), размеров выемки и параметров рабочего оборудования экскаватора [14].

Правильный выбор вида проходки позволяет рационально организовать работу экскаватора и транспортных средств. После выбора вида проходки приступают к проектированию забоя, которое заключается в определении наиболее оптимальных размеров забоя, взаимного положения экскаватора и транспортных средств [2].

3.5.1 Экскаватор с рабочим оборудованием прямой лопаты

Экскаватор с прямой лопатой разрабатывает грунт впереди себя и выше уровня стоянки движением ковша снизу вверх (рисунок 3.5).

На рисунке 3.5 рабочими параметрами экскаватора являются:

А – длина стрелы;

Б – длина рукояти;

$R_{\text{х}}$ – радиус, описываемый хвостовой частью кузова;

K – полная ширина колеи;

$R_{\max}$ – наибольший радиус копания на уровне напорного вала;

$R_{\text{с}}$ – наибольший радиус копания на уровне стоянки экскаватора;

h – высота напорного вала;

H – наибольшая высота копания;

$H_{\text{к}}$ – глубина копания ниже уровня стоянки;

$H_{\text{р.max}}$ – наибольшая высота разгрузки;

$R_р$ – радиус разгрузки при наибольшей высоте разгрузки;
$R_{р.max}$ – наибольший радиус разгрузки;
$H_р$ – высота разгрузки при наибольшем ее радиусе.

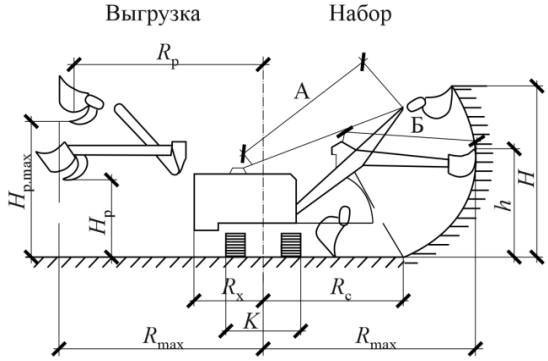


Рисунок 3.5 – Схема рабочих параметров экскаватора с оборудованием прямой лопаты

При лобовой проходке транспорт подается на дно траншеи, разработанной экскаватором, и устанавливается позади него. В связи с этим возникает необходимость маневрирования транспорта в экскаваторной проходке и подачи транспорта к экскаватору задним ходом.

Угол поворота экскаватора β при разгрузке грунта в транспорт может достигать 130–180° (рисунок 3.6, *а*). Несколько снизить угол поворота экскаватора можно применяя широкий лобовой забой, при котором ширина его поверху достигает полуторного значения наибольшего радиуса копания экскаватора R_{max}. В этом случае в забое автосамосвал устанавливается несколько влево или вправо от продольной оси разработки с соответствующими (левым или правым) поворотами экскаватора (рисунок 3.6, *б*).

Преимуществом лобовой проходки является большой объем грунта, разрабатываемый экскаватором с одной стоянки, и меньшее количество его передвижек.

Применяется она для первой проходки экскаватора в выемке или карьере, при коротких выемках на крутых склонах местности, при разработке скальных выемок в промышленном и гражданском строительстве, если размеры котлована не позволяют применить боковую проходку.

При боковой проходке выгрузку грунта экскаватор осуществляет на сторону в отвал или в транспорт, стоящий сбоку экскаватора (рисунок 3.7). При этом транспорт может находиться на одном уровне с уровнем стоянки экскаватора (см. рисунок 3.7, *а*) или несколько выше (см. рисунок 3.7, *б*).

Достоинством боковой проходки является сквозное (без маневрирования) движение транспорта, меньший угол поворота экскаватора; все это увеличивает производительность последнего.

Однако при боковой проходке уменьшается объем грунта, разрабатываемого с одной стоянки, и увеличивается количество передвижек экскаватора.

Применяется боковая проходка при разработке глубоких выемок, в которых грунт вынимается несколькими последовательными проходками экскаватора, а также во всех случаях, когда невозможна работа экскаватора лобовой проходкой. Поэтому, где это возможно, предпочтительно применение боковой проходки экскаватора [21].

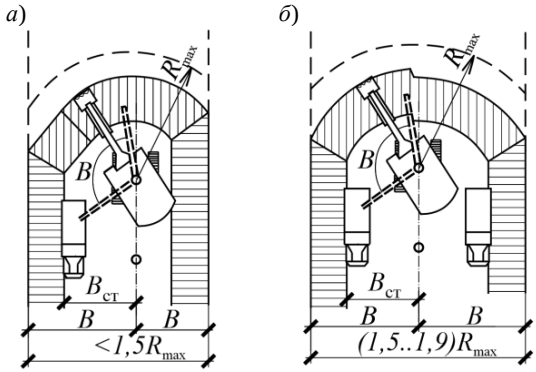


Рисунок 3.6 – Схема лобового забоя экскаватора с прямой лопатой:
а – узкий забой; *б* – широкий забой

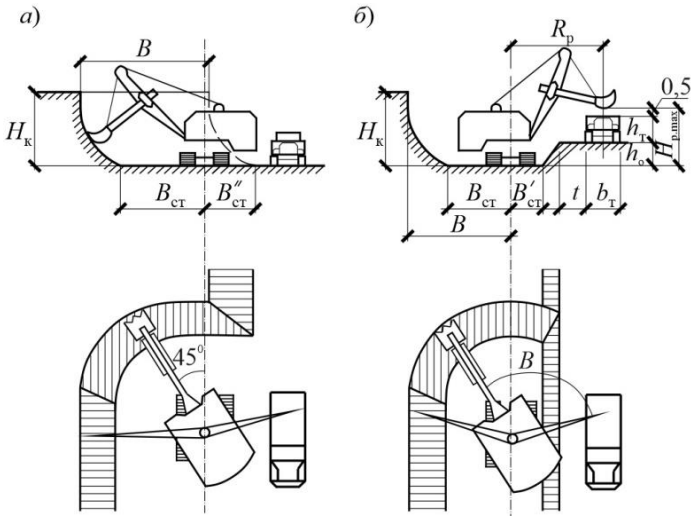


Рисунок 3.7 – Схема бокового забоя экскаватора с прямой лопатой:
а – уровень стоянки транспорта и экскаватора совпадают; *б* – уровень стоянки транспорта выше стоянки экскаватора

Лобовая уширенная проходка образуется при зигзагообразном движении экскаватора вдоль разрабатываемой выемки (рисунок 3.8). По сравнению с лобовой ширина проходки в этом случае увеличивается на $(0{,}3...0{,}8)R_{max}$. При необходимости разработки еще более широких выемок может применяться поперечно-лобовая проходка, при которой наряду с общим движением вдоль оси разрабатываемой выемки экскаватор осуществляет перемещения поперек нее.

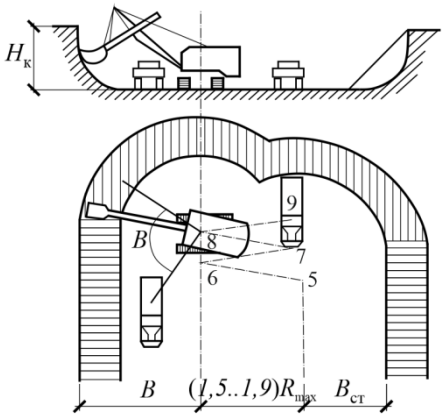


Рисунок 3.8 – Схема лобового забоя экскаватора с прямой лопатой

Как видно из рисунка 3.9, по сравнению с лобовой проходкой ширина разработки в этом случае увеличивается на $2(0{,}8...0{,}9)R_{max}$. Как в лобовой уширенной, так и в поперечно-лобовой проходках расстояние между стоянками экскаватора вдоль оси разрабатываемой выемки равно длине рабочей передвижки (см. рисунки 3.8, 3.9).

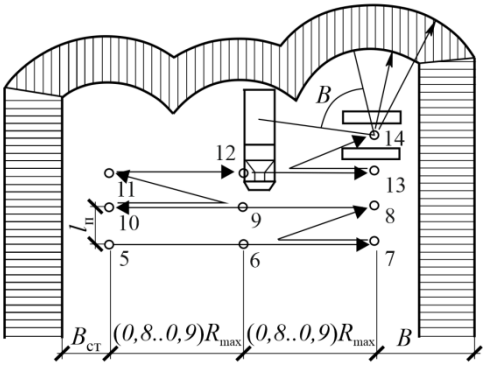


Рисунок 3.9 – Схема поперечно-лобового забоя экскаватора с прямой лопатой. Цифрами обозначены номера стоянок

Последние две проходки удобны для разворота транспорта в выемке, однако требуют частых поворотов экскаватора и поэтому применяются для сравнительно легких поворотов экскаваторов ($q < 0{,}5$ м^3) на пневмоколесном ходу. В промышленном и гражданском строительстве указанные проходки применяются для разработки широких котлованов под фундаменты зданий и сооружений.

Оптимальные размеры забоя определяются в поперечном сечении проходки экскаватора. Они зависят от рабочих параметров экскаватора (см. рисунок 3.9), вида и характеристик транспортных средств, характеристик грунтов [21].

При лобовой проходке экскаватора определяются расстояния от оси проходки экскаватора до края забоя в наиболее ее широкой части B и до начала откоса забоя на уровне стоянки экскаватора $B_{ст}$, минимальная глубина забоя H_{min} и наибольшая высота копания $H_к$ (см. рисунки 3.5, 3.6).

Значения B и $B_{ст}$ определяются по формулам:

$$B = \sqrt{R_{к.пр}^2 - l_п^2}\ ; \tag{3.3}$$

$$B_{ст} = R_с \frac{Б}{R_{max}}, \tag{3.4}$$

где $R_{к.пр}$ – наибольший практический радиус копания (принимается равным 0,8–0,9 наибольшего радиуса копания на уровне напорного вала R_{max});

$l_п$ – длина рабочей передвижки экскаватора (может приниматься равной примерно 0,75Б);

$R_с$ – наибольший радиус копания на уровне стоянки экскаватора;

Б – длина рукояти.

Минимальная глубина забоя H_{min}, необходимая для наполнения ковша, составляет в грунтах I и II группы около $0{,}3H_в$, в грунтах III группы – $0{,}5H_в$, в грунтах IV группы – $0{,}7H_в$, где $H_в$ – высота напорного вала (см. рисунок 3.10, приложение Л).

Значения $H_к$, R_{max}, $R_с$ и B могут приниматься по данным приложения Л (при работе экскаватора в сыпучих грунтах значение $H_к$ не ограничивается).

При уширенной лобовой и поперечно-лобовой проходках экскаватора значения B, $B_{ст}$, H_{min} и $H_к$ (см. рисунки 3.8, 3.9) определяются аналогично лобовой проходке.

В случае боковых проходок, помимо значений B, $B_{ст}$, H_{min} и $H_к$ (см. рисунок 3.7), определяемых аналогично лобовой проходке, устанавливаются:

а) при разных уровнях стоянки экскаватора и транспорта (см. рисунок 3.7, *б*) возможное превышение уровня стоянки транспорта над уровнем сто-

янки экскаватора и расстояние от оси перемещения экскаватора до начала откоса в сторону разгрузки грунта $B'_{ст}$;

б) при одинаковом уровне стоянки экскаватора и транспорта (см. рисунок 3.7, *а*) – расстояние от оси движения экскаватора до начала откоса в сторону выгрузки на уровне стоянки экскаватора $B''_{ст}$.

Значения $B'_{ст}$ и $B''_{ст}$, м, определяются по формулам:

$$h_0 = H_{р.max} - (h_т + 0,5); \tag{3.5}$$

$$B'_{ст} = R_р - \left(\frac{b_т}{2} + t + h_0\right); \tag{3.6}$$

$$B''_{ст} = \frac{R_с}{\sqrt{2}}, \tag{3.7}$$

где $H_{р.max}$ – наибольшая высота разгрузки;

$h_т$ – погрузочная высота транспорта;

0,5 – запас, учитывающий неровности пути и превышение погруженного грунта над бортами, м;

$R_р$ – радиус разгрузки при наибольшей ее высоте;

$b_т$ – ширина колеи транспорта;

t – запас, во избежание обрушения бровки принимается равным 1 м.

Значения $H_{р.max}$, $R_р$ принимаются по паспортным данным экскаваторов (см. приложение Л), значения $h_т$ и $b_т$ – по паспортным данным транспорта (см. приложение Л).

Формулы (3.5) и (3.6) получены по геометрическим построениям на рисунке 3.7, *б*, формула (3.7) учитывает, что угол поворота экскаватора от оси его перемещения до подошвы откоса справа не должен превышать 45° (см. рисунок 3.7, *а*).

Пример 3.7. Выбрать вид проходки, рассчитать размеры забоев и определить количество проходок при разработке котлована экскаватором с рабочим оборудованием прямой лопаты. Размеры котлована в плане по низу – 40×22 м, глубина котлована – 5 м. Крутизна откосов котлована 1 : 1,25, грунт – суглинок тяжелый с примесью щебня более 10 %.

Решение. Принят для разработки экскаватор ЭО-652, работающий с углом наклона стрелы 45°. Предусмотрено выполнить первую проходку лобовой, последующие – боковыми. Указанный грунт при разработке одноковшовым экскаватором относится к III группе. Рабочие параметры, м, экскаватора ЭО-652 при угле наклона стрелы 45° (см. приложение Л):

$$H_в = 3,5;\ H_к = 6,5,\ R_{max} = 7,8;\ R_с = 3,5;\ Б = 4,5.$$

Отсюда $H_{min} = 0,5 \cdot 3,5 = 1,75$ м. Следовательно, глубина котлована, равная 5,0 м, достаточна для полного наполнения ковша $H_к = 6,5$ м, что больше требуемой глубины разработки котлована, поэтому экскаватор ЭО-652 будет эффективно работать в данном котловане.

Наибольший практический радиус копания

$$R_{к.пр} = 0,8 \cdot 7,8 = 6,2 \text{ м}.$$

Тогда размеры забоя в поперечном сечении проходки:

$$B = \sqrt{6,2^2 - 3,4^2} = 5,2 \text{ м};$$

$$B_{ст} = 3,5 \cdot \frac{5,2}{7,8} = 2,3 \text{ м}.$$

В последующих боковых забоях, имеющих одинаковый уровень стоянки экскаватора и транспорта, расстояние от оси движения экскаватора до начала откоса в сторону выгрузки

$$B''_{ст} = \frac{3,5}{\sqrt{2}} \cong 2,5 \text{ м}.$$

Согласно рисунку 3.10, *а* для разработки указанного котлована потребуется выполнить одну лобовую и четыре боковые (в том числе одну уменьшенного поперечного сечения) проходки.

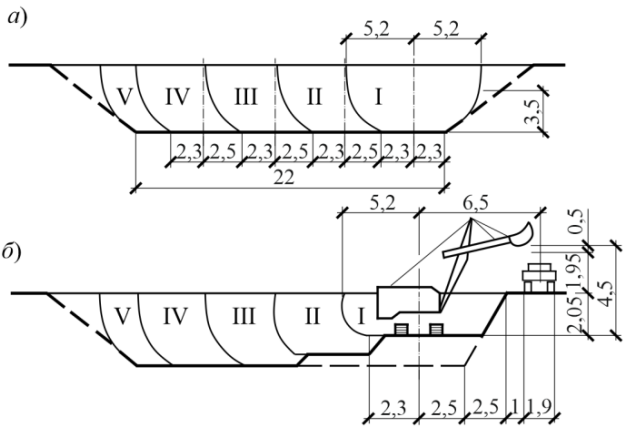


Рисунок 3.10 – Схема разработки котлована экскаватором прямая лопата:
а – лобовой и последующими боковыми проходками экскаватора; *б* – боковыми проходками.
Римские цифры – номера проходок, штрихпунктир – ось движения экскаватора
(размеры – в метрах)

Поскольку котлован имеет значительную длину, что затруднит подачу транспорта при первой (лобовой) проходке экскаватора, то целесообразно лобовую и последующие боковые проходки направить поперек котлована. Некоторым недостатком в этом случае явится увеличенное число (9) проходок экскаватора.

Разработать котлован уширенной лобовой или поперечно-лобовой проходками невозможно, поскольку общая ширина проходки понизу при этом будет меньше ширины котлована (22 м) и составит:

а) для уширенной лобовой проходки

$$2B_{ст} + 0,8R_{max} = 2 \cdot 2,3 + 0,8 \cdot 7,8 = 10,8 м \text{ (см. рисунок 3.7);}$$

б) для поперечно-лобовой

$$2B_{ст} + 2 \cdot 0,9R_{max} = 2 \cdot 2,3 + 2 \cdot 0,9 \cdot 7,8 = 18,7 м \text{ (см. рисунок 3.8).}$$

При разработке котлована только боковыми проходками экскаватора с выгрузкой грунта в автосамосвал МАЗ-503 учитываются дополнительные рабочие параметры экскаватора и автосамосвала, м:

$H_{р.max}$ = 4,5 м; $R_р$ = 6,5 м; $h_т$ = 1,95 м; t = 1 м; $b_т$ = 2,2 м (см. приложение Л).

Размеры первого и второго забоев экскаватора составят:

$$h_0 = 4,5 - (1,95 + 0,5) = 2,05 м;$$

$$B'_{ст} = 6,5 - (2,2 + 1 + 2,05) = 2,45 м.$$

Значения H_{min}, $H_к$, B, $B_{ст}$ и $B''_{ст}$ были определены.

Для увеличения глубины первой (пионерной) проходки экскаватора угол наклона его стрелы следовало бы увеличить до 60°. Однако, как показывает расчет, в этом случае значение $B''_{ст}$ составит всего лишь 0,3 м, что значительно меньше половины ширины экскаватора, равной 1,4 м (см. приложение Л). Поэтому здесь, как и ранее, угол наклона стрелы принят равным 45°.

3.5.2 Экскаватор с рабочим оборудованием драглайна

Экскаватор с оборудованием драглайна разрабатывает грунт ниже уровня стоянки (рисунок 3.11).

Рабочими параметрами экскаватора являются: А – длина стрелы; $R_х$ – радиус, описываемый хвостовой частью кузова; M – продольная база ходовой части; λ – угол наклона стрелы к горизонту: R_{max} – наибольший радиус копания на уровне стоянки экскаватора; R_{min} – минимальный радиус копа-

ния на уровне стоянки экскаватора; $H_г$ – наибольшая глубина копания при головной проходке; $H_б$ – то же при боковой проходке; $H_{р.max}$ – наибольшая высота разгрузки; $R_{р.max}$ – наибольший радиус разгрузки.

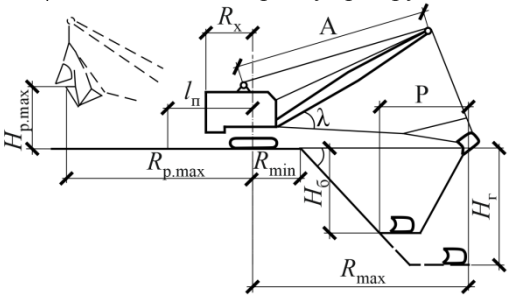


Рисунок 3.11 – Схема рабочих параметров экскаватора с оборудованием драглайна

При ***торцевой проходке*** экскаватор продвигается внутри очертания разработки, оставляя позади себя уже выбранную часть забоя, при этом глубина разработки достигает максимальных значений, а угол поворота стрелы β – минимальных (рисунки 3.12, 3.13). Торцевая проходка обеспечивает большую устойчивость экскаватора. Она применяется при выгрузке грунта на транспорт как при разработке узких котлованов одиночной проходкой (см. рисунок 3.12), так и при разработке широких котлованов рядом последующих проходок (см. рисунок 3.13).

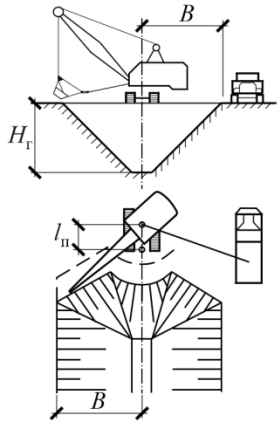


Рисунок 3.12 – Схема торцевого забоя первой проходки экскаватора с оборудованием драглайна

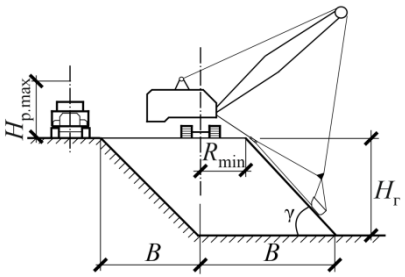


Рисунок 3.13 – Схема торцевого забоя первой проходки экскаватора с оборудованием драглайна

При ***боковой проходке*** разработку выемки экскаватор осуществляет продвигаясь вдоль верхней бровки параллельно ее оси, при этом глубина

разработки и устойчивость экскаватора будут меньше, а угол поворота стрелы β – больше, чем при торцевой проходке (рисунок 3.14). Боковая проходка применяется реже, чем торцевая, в основном при выгрузке грунта в отвал.

Как и для прямой лопаты, для разработки драглайном широких выемок могут применяться ***уширенная торцевая*** (рисунок 3.15) и ***поперечно-торцевая*** проходки. Указанные проходки напоминают одноименные проходки для прямой лопаты. По сравнению с торцевой ширина проходки в этих случаях увеличивается на те же значения, что и при лобовой для прямой лопаты.

Вследствие частых поворотов и передвижек уширенная торцевая и поперечно-торцевая проходки могут применяться для сравнительно легких экскаваторов [21].

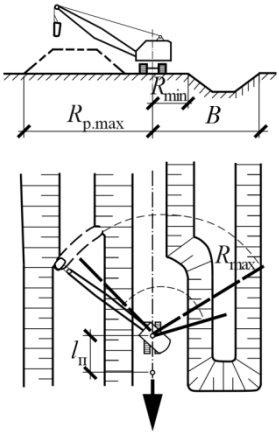


Рисунок 3.14 – Схема бокового забоя экскаватора с оборудованием драглайна

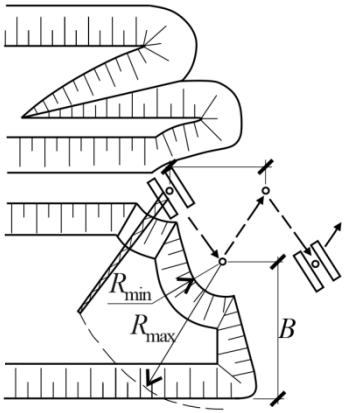


Рисунок 3.15 – Схема уширенного торцевого забоя экскаватора с оборудованием драглайна

Размеры забоя для драглайна зависят от тех же параметров, что и для прямой лопаты.

При ***торцевой проходке*** экскаватора определяются минимальная глубина забоя H_{min}, наибольшая глубина забоя $H_г$, длина рабочей передвижки $l_п$ и расстояние от оси проходки экскаватора до бровки забоя B (см. рисунки 3.12–3.14).

Минимальная глубина забоя, необходимая для наполнения ковша, составляет при вместимости ковша 0,4 $м^3$ – 0,25 м; 0,65 $м^3$ – 0,3 м; 1,0 $м^3$ – 0,4 м.

Значение рабочей передвижки экскаватора численно равно величине P (см. рисунок 3.11):

$$l_{\text{п}} = P = R_{\max} - \left(R_{\min} + \frac{H}{\text{tg}\gamma} \right); \tag{3.8}$$

$$B = \sqrt{R_{\text{к.пр}}^2 - l_{\text{п}}^2}, \tag{3.9}$$

где H – глубина разрабатываемого котлована, м (должна быть всегда меньше или равной $H_{\text{г}}$);

γ – угол между траекторией движения ковша при наборе грунта и линией горизонта (для обеспечения устойчивости экскаватора принимается не более 60° для плотных грунтов и 45° – для рыхлых).

При повышенной влажности грунтов угол γ уменьшается соответственно до 40 и 30°.

Минимальный радиус копания на уровне стоянки экскаватора определяется условиями устойчивости экскаватора. Для экскаватора с вместимостью ковша до 0,75 м^3

$$R_{\min} = \frac{M}{2} + 1; \tag{3.10}$$

для экскаваторов с большей вместимостью ковша

$$R_{\min} = \frac{M}{2} + 1{,}5. \tag{3.11}$$

Остальные обозначения в формулах (3.8) и (3.9), а также глубина забоя $H_{\text{г}}$ приведены на рисунках 3.11–3.13 и берутся из паспортной характеристики экскаватора (см. приложение Л).

Ширина забоя донизу при работе экскаватора с оборудованием драглайна не определяется, поскольку крутизна бокового откоса проходки (см. рисунки 3.12, 3.13) экскаватора может доходить до 70–85°, что значительно больше допустимой по условию устойчивости грунтов.

При уширенной торцевой (см. рисунок 3.15) и поперечно-торцевой проходках экскаватора значения $H_{\min}$, $l_{\text{п}}$, B и $H_{\text{г}}$ определяются аналогично торцевой проходке.

При боковой проходке длина рабочей передвижки экскаватора-драглайна не рассчитывается, а принимается равной в пределах 2–6 м. Расстояние от оси движения экскаватора до противоположной бровки проходки B определяется по формуле (3.9), значение $R_{\min}$ (см. рисунок 3.14) – по формулам (3.10) и (3.11), в которых вместо значения M подставляется ширина колеи K. Значения угла ближайшего откоса проходки γ, $R_{\min}$, $H_{\text{б}}$ не устанавливаются аналогично торцевой проходке. Крутизна противоположного откоса зависит от плотности грунтов и для легких грунтов может достигать 85°.

Пример 3.8. Выбрать вид проходки, рассчитать размеры забоев и определить количество проходок при разработке котлована экскаватором с рабочим оборудованием драглайна с выгрузкой грунта в транспортные средства. Размеры котлована и крутизна откосов те же, что и в примере 3.7, грунт – супесь легкая, без примесей, маловлажная.

Решение. Принят экскаватор ЭО-652 с ковшом вместимостью 0,8 $м^3$, с длиной стрелы 10 м и углом ее наклона 30°. Предусмотрено выполнить первую и последующие проходки торцевыми вдоль длинной стороны котлована. Указанный грунт при разработке одноковшовым экскаватором относится к I группе (см. приложение Н).

Рабочие параметры, м, экскаватора-драглайна ЭО-652 составят (см. приложение Л) M = 2,7; $R_х$ = 2,9; А = 10; R_{min} = 11,1; $H_г$ = 7,3; $R_{р.max}$ = 10,0; $H_{р.\ max}$= = 3,5; γ принят равным 50°.

Глубина котлована H = 5,0 м значительно больше минимальной глубины забоя H_{min}, равной 0,3 м, в то же время значение $H_г$ больше глубины котлована, следовательно, данный экскаватор может работать торцевой проходкой.

При первой проходке

$$R_{min} = \frac{2,7}{2} + 1,5 \cong 2,9 \text{ м};$$

$$l_п = 11,1 - \left(2,9 + \frac{5,0}{\text{tg}50}\right) = 11,1 - \left(2,9 + \frac{5,0}{1,19}\right) = 4,0 \text{ м};$$

$$B = \sqrt{11,1^2 - 4,0^2} = 10,3 \text{ м}.$$

Принято, что крутизна бокового откоса при работе экскаватора составляет 60°.

При второй проходке исходя из условия подбора грунта внизу откоса, образованного первой проходкой, ось движения экскаватора расположится на расстоянии R = 10,3 м от низа откоса или 6,9 м от его верха (рисунок 3.16, *а*).

Согласно рисунку 3.16, *а* для разработки указанного котлована потребуется выполнить две торцевые проходки. Уширенная торцевая проходка невозможна при данных параметрах экскаватора, поскольку общая ширина проходки поверху, равная $2B + 0,8R_{max} = 2 \cdot 10,3 + 0,8 \cdot 11,1 = 29,5$ м, меньше ширины котлована поверху, равной 34,5 м. Поперечно-торцевая проходка возможна, поскольку общая ширина проходки поверху больше ширины котлована:

$$2B + 2 \cdot 0,9R_{max} = 2 \cdot 10,3 + 2 \cdot 0,9 \cdot 11,1 = 40,6 \text{ м}.$$

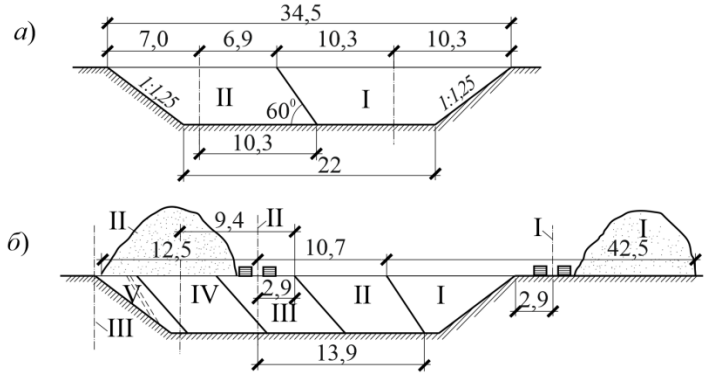


Рисунок 3.16 – Схема разработки котлована экскаватором-драглайном ЭО-652: *а* – торцевыми проходками с выгрузкой грунта в транспорт; *б* – боковыми проходками с выгрузкой грунта в отвал. Римские цифры – номера проходок; штрихпунктир – ось движения экскаватора (размеры – в метрах)

Пример 3.9. Выбрать вид проходки, рассчитать размеры забоев и определить количество проходок при разработке заданного в примере 3.8 котлована с выгрузкой грунта в отвал вдоль его длинных сторон.

Решение. Принят экскаватор ЭО-652 с ковшом вместимостью 0,8 м^3, длиной стрелы 13 м и углом ее наклона 30°.

Предусмотрено выполнить первую и последующие проходки боковыми вдоль длинной стороны котлована.

Рабочие параметры экскаватора составят, м: K = 2,8; $R_{\text{х}}$ = 2,9; A = 13; $R_{\max}$ = 14,3; $H_{\text{б}}$ = 6,6; $P_{\text{З}}$ = 12Д; $H_{\text{р.max}}$ = 5,3 (см. приложение Л). Как и в примере 3.8, γ = 50°. При первой проходке

$$R_{\min} = \frac{2,8}{2} + 1,5 = 2,9 \text{ м};$$

$l_{\text{п}}$ принята равной 3 м,

$$B = \sqrt{14,3^2 - 3,0^2} = 13,9 \text{ м}.$$

Крутизна противоположного откоса проходки принята равной 60°. Согласно рисунку 3.16, *б* после первой проходки с выгрузкой грунта направо большая часть грунтового массива в котловане осталась неразработанной.

Если вторую боковую проходку осуществить вдоль левой бровки котлована с выгрузкой грунта налево, то средняя часть котлована останется неразработанной. Поэтому вторая и последующие проходки осуществляются с разработкой грунта, начиная от первой проходки. В этом случае, исходя из условия подбора грунта внизу откоса, образованного предыдущей про-

ходкой, ось движения экскаватора располагается на расстоянии 13,9 м от низа откоса или 10,7 м от его верха для второй проходки, 9,4 м – для последующих.

Разгруженный грунт после второй проходки находится в пределах котлована, а после третьей – за пределами, поэтому грунт после второй проходки должен быть убран за пределы котлована (экскаватором или бульдозером). Согласно рисунку 3.16, *б* всего потребуется выполнить пять боковых проходок экскаватора.

Однако если экскаватор при второй и последующих проходках будет выбирать грунт не только сбоку, но и позади себя, т. е. осуществлять торцевую проходку, то, как показывает расчет, всего потребуется выполнить три проходки, в том числе третью, только в пределах откоса котлована.

Следовательно, используя данный экскаватор при заданных рабочих параметрах с выгрузкой грунта в отвал, наиболее рационально сочетать первую боковую с последующими торцевыми проходками.

3.5.3 Экскаватор с рабочим оборудованием обратной лопаты

Характер работы и виды забоев экскаватора с оборудованием обратной лопаты и экскаватора с оборудованием драглайна подобны (рисунок 3.17). Рабочими параметрами экскаватора являются (см. рисунок 3.17):

А – длина стрелы;

Б – длина рукояти;

$R_{\text{х}}$ – радиус, описываемый хвостовой частью кузова;

$R_{\max}$ – наибольший радиус копания на уровне стоянки экскаватора;

$R_{\min}$ – минимальный радиус копания на уровне стоянки экскаватора;

$H_{\text{т}}$ – наибольшая глубина копания траншей;

$H_{\text{к}}$ – то же для котлованов;

$R_{\text{р.н}}$ – начальный радиус разгрузки;

$R_{\text{р.к}}$ – конечный радиус разгрузки;

$H_{\text{р.н}}$ – начальная высота разгрузки;

$H_{\text{р.к}}$ – конечная высота разгрузки.

Торцевая проходка во всех случаях применяется при разработке траншей (см. рисунок 3.17), выгрузке грунта на транспорт и повторных проходках с выгрузкой грунта в отвал. Если ширина траншеи меньше расстояния в свету между гусеницами (колесами) экскаватора, то глубина разработки больше и достигает значений $H_{\text{т}}$; если ширина траншеи больше указанного размера, то глубина разработки не превышает значения $H_{\text{к}}$.

Боковая проходка экскаватора обратная лопата применяется лишь при выгрузке грунта в отвал при разработке сравнительно неширокого котлованов (рисунок 3.18).

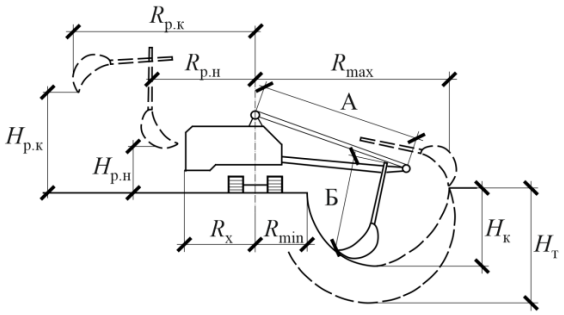


Рисунок 3.17 – Схема рабочих параметров экскаватора с оборудованием обратной лопаты

Уширенная, поперечно-торцевая, торцевая проходки для экскаватора обратная лопата применяются крайне редко и по характеру не отличаются от соответствующих проходок экскаватора-драглайна.

При торцевой проходке определяются минимальная глубина забоя H_{min}, наибольшая глубина копания $H_т$ или $H_к$ и расстояние от оси проходки экскаватора до бровки забоя B (см. рисунки 3.17, 3.18). Минимальная глубина забоя, необходимая для наполнения ковша, составляет при вместимости ковша 0,25 м^3 1,2 м; при 0,65 м^3 – 1,5 м. Значения $H_т$ или $H_к$ определяются по паспортной характеристике экскаватора (см. приложение Л), значение B – по формуле (3.3), в которой величины составляющих определяются так же, как и для прямой лопаты, R_{min} – по формулам (3.10) и (3.11).

При боковой проходке (рисунок 3.19) значения B и R_{min} определяются аналогично соответствующим значениям для экскаватора-драглайна по формулам (3.9)–(3.11), $l_п$ – так же, как и для прямой лопаты, остальные рабочие параметры – по паспортной характеристике экскаватора.

Пример 3.10. Выбрать вид проходки, рассчитать размеры забоев и определить количество проходок при разработке экскаватором обратная лопата отдельных котлованов под фундаменты колонн с выгрузкой грунта в автотранспорт. Размеры котлованов в плане понизу – 3×3 м; глубина котлованов – 2,2 м; крутизна откосов котлованов – 1:1; грунт – суглинок тяжелый с примесью щебня более 10 %.

Решение. Принят экскаватор ЭО-255, разрабатывающий котлованы торцевыми проходками. Поскольку заданный грунт относится к III группе [20], то экскаватор оборудуется ковшом с зубьями вместимостью 0,25 м^3.

Рабочие параметры, м, экскаватора ЭО-255 (см. приложение Л): M = 2,8; K = 2,7; $R_х$ = 2,3; А = 4,5; Б = 2,4; R_{max} = 7,3; $H_к$ = 2,6; $R_{р.н}$ = 6,3; $R_{р.к}$ = 6,3; $H_{р.н}$ = 2,4; $H_{р.к}$ = 5,7.

Глубина котлована, равная 2,2 м, больше минимальной глубины (H_{min} = = 1,2 м) и меньше максимальной ($H_к$ = 2,6), поэтому принятый экскаватор будет работать эффективно.

При первой проходке

$$R_{\min} = \frac{2,8}{2} + 1 = 2,4 \text{ м};$$

$$R_{\text{к.пр}} = 0,8 \cdot 7,3 = 5,8 \text{ м};$$

$$L_{\text{п}} = 0,75 \cdot 2,4 = 1,8 \text{ м};$$

$$B = \sqrt{5,8^2 - 1,8^2} = 5,5 \text{ м}.$$

Согласно рисунку 3.20, *б* экскаватор разрабатывает котлован за одну проходку, при этом для удобства разгрузки грунта в транспорт ось движения экскаватора сдвинута от оси котлована в сторону транспорта вплоть до предельного значения B. Тогда уменьшается угол поворота экскаватора β и улучшаются условия выгрузки грунта в транспорт.

Количество стоянок *N*, необходимых для разработки котлованов,

$$N = \frac{L}{l_{\text{п}}} + 1, \tag{3.12}$$

где *L* – длина котлована поверху в направлении движения экскаватора (3 + + 2 · 2,2 = 7,4 м).

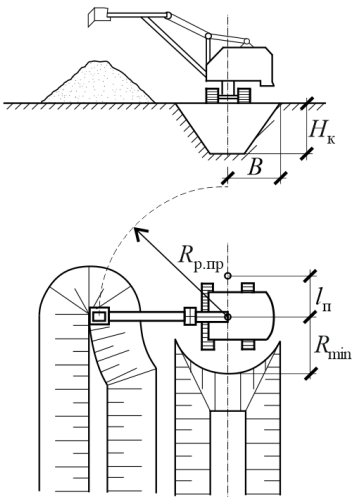


Рисунок 3.18 – Схема торцевого забоя экскаватора с оборудованием обратной лопаты

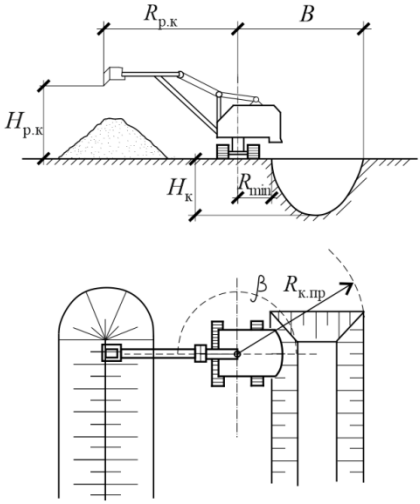


Рисунок 3.19 – Схема бокового забоя экскаватора с оборудованием обратной лопаты

Окончательно

$$N = \frac{7,4}{1,8} + 1 = 5,1 \approx 5 \text{ стоянок.}$$

Пример 3.11. Выбрать вид проходки, рассчитать размеры забоев и определить количество проходок при разработке заданного в примере 4 котлована с выгрузкой грунта в отвал.

Решение. Принят экскаватор Э-255 с теми же рабочими параметрами, что и в примере 3.10. Предусмотрена работа экскаватора боковыми проходками. Тогда

$$R_{\min} = \frac{2,7}{2} + 1 = 2,35 \text{ м}; \; R_{\text{к.пр}} = 5,8 \text{ м}; \; l_{\text{п}} = 1,8 \text{ м}; \; B = 5,5 \text{ м}.$$

Схема разработки котлована будет аналогична схеме, приведенной на рисунке 3.19. Поэтому на рисунке 3.20, *б* приведена упрощенная схема (без экскаватора). Как в примере 3.10, для разработки котлована по его длине необходимо предусмотреть 5 стоянок экскаватора. Ширина разработки поверху, выполненной за один проход экскаватора, составит $B - R_{\min} = 5,5 - 2,35 = 3,15$ м.

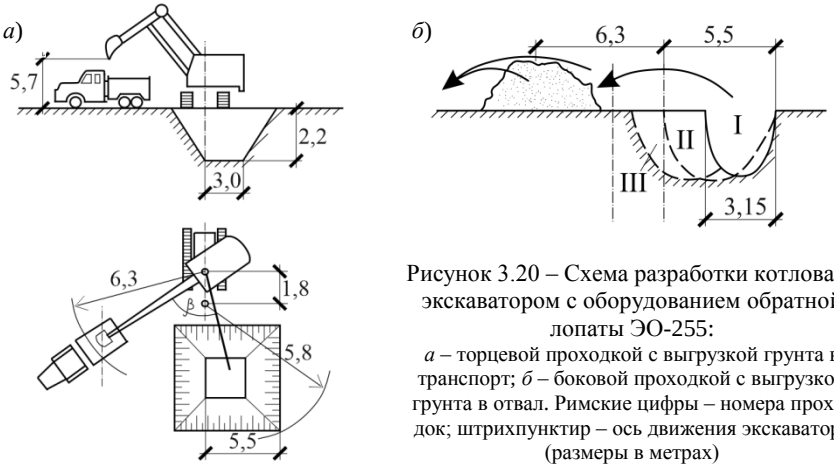


Рисунок 3.20 – Схема разработки котлована экскаватором с оборудованием обратной лопаты ЭО-255:
а – торцевой проходкой с выгрузкой грунта в транспорт; *б* – боковой проходкой с выгрузкой грунта в отвал. Римские цифры – номера проходок; штрихпунктир – ось движения экскаватора (размеры в метрах)

При ширине котлована поверху 7,4 м для его разработки боковыми проходками потребуется выполнить не менее $7 / 3,15 \cong 2 \ldots 3$ проходок, а с учетом необходимости доработки грунта в откосах каждой проходки – не менее 3 проходок. После первой проходки грунт будет разгружен на расстояние $B + R_{\text{р.к}} = 5,5 + 6,3 = 11,8$ м от правой бровки котлована при его ширине поверху 7,4 м. Однако выгруженный грунт лежит в пределах траектории

движения экскаватора при третьей проходке. Поэтому необходимо или грунт сдвигать дальше от котлована, или первую проходку экскаватора осуществлять с разгрузкой грунта на другую сторону котлована.

3.6 Определение эксплуатационной производительности экскаватора

Эксплуатационная производительность, $м^3$/смену,

$$П_с = 8П_ч, \tag{3.13}$$

где $П_ч$ – часовая эксплуатационная производительность машины, $м^3$/ч:

– для одноковшового экскаватора цикличного действия

$$П_ч = \frac{3600}{T_ц} q \frac{K_н}{K_р} K_в; \tag{3.14}$$

– для многоковшового экскаватора непрерывного действия

$$П_ч = 60q \frac{nK_н}{1000K_р} K_в, \tag{3.15}$$

где $T_ц$ – продолжительность цикла машины, с (см. приложение К);

q – вместимость ковша (для одноковшовых экскаваторов в кубических метрах, для многоковшовых – в литрах), берется по паспортным характеристикам в приложении Л;

n – число ковшей, опорожняемых в 1 мин;

$K_н$ – коэффициент наполнения ковша (для одноковшового экскаватора, в зависимости от вида рабочего оборудования, принимается по данным приложения Е, для многоковшовых при разработке рыхлых грунтов – 0,8, комковатых – 0,9);

$K_р$ – коэффициент первоначального разрыхления грунта

$$K_р = \frac{100 + n}{100}; \tag{3.16}$$

$K_в$ – коэффициент использования рабочего времени машины на полезную работу (для одноковшовых экскаваторов принимается по данным приложения К, для многоковшовых – 0,75).

Число ковшей, опорожняемых в минуту,

$$n = \frac{v}{l}, \tag{3.17}$$

где v – скорость движения ковшей (скорость резания), м/с (берется по паспортным характеристикам машин);

l – расстояние между ковшами, м (берется по паспортным характеристикам машин).

При разработке одноковшовыми экскаваторами грунтов I, II и III групп целесообразно на серийный экскаватор ставить ковш повышенной вместимости со сплошной режущей кромкой. Например, на экскаватор ЭО-255 вместо ковша с зубьями вместимостью 0,25 $м^3$ можно поставить ковш со сплошной режущей кромкой вместимостью 0,4 $м^2$ и т. п. (см. приложение Л). При такой замене, несмотря на некоторое увеличение продолжительности цикла (см. приложение Л), производительность экскаватора возрастает на 8–12 %.

Пример 3.12. Для рытья траншеи в лессовидном суглинке (I группа) принят экскаватор с оборудованием обратной лопаты ЭО-652. Грунт разрабатывается в отвал.

Решение. Для ковша с зубьями: $q = 0{,}65$ $м^3$; $T_ц = 20$ с; $K_н = 1{,}0$; $K_р = 1{,}2$; $K_в = 0{,}7$;

$$П_ч = \frac{3600}{20} \cdot 0{,}65 \cdot \frac{1}{1{,}2} \cdot 0{,}7 = 68 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для ковша со сплошной режущей кромкой: $q = 0{,}8$ $м^3$; $T_ц = 20 \cdot 1{,}15 =$ $= 23$ с (см. приложения К, Л);

$$П_ч = \frac{3600}{23} \cdot 0{,}8 \cdot \frac{1}{1{,}2} \cdot 0{,}7 = 73 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для данного типа ковша производительность увеличивается $(73-68)/68 \cdot 100 \cong 7$ %.

Разработка грунта многоковшовыми экскаваторами, как известно, осуществляется за счет движения ковшей с одновременным перемещением экскаватора.

Скорость движения ковшей (скорость резания) обычно устанавливается постоянной с таким расчетом, чтобы число ковшей n, опоражниваемых в одну минуту, составляло 30–40 (меньшее значение для более вязких грунтов).

Соответственно, скорость хода подбирается экскаваторщиком так, чтобы для данной глубины траншеи обеспечивалось полное наполнение ковшей.

Таким образом, в расчетах можно принимать указанные выше усредненные значения n.

Пример 3.13. Рытье траншеи глубиной до 2,2 м в супесях (I группа) намечено осуществить многоковшовым экскаватором ЭТУ-353.

Решение. $q = 45$ л; $n = 40$ ковшей/мин, $K_н = 0{,}8$; $K_р = 1{,}15$; $K_в = 0{,}75$;

$$П_ч = \frac{60 \cdot 45 \cdot 40 \cdot 0,8 \cdot 0,75}{1000 \cdot 1,15} = 56,3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Необходимое количество машин N

$$N = \frac{V}{ТП_с K}, \tag{3.18}$$

где V – объем работ, $м^3$;

T – заданный срок в рабочих днях;

K – количество смен в сутках, принимаемое равным 2.

Если для рытья котлована или траншеи применение более одного экскаватора нерационально вследствие недостаточности фронта работы, допустимо увеличить срок работ или принять более мощный экскаватор.

3.7 Выбор и определение количества транспортных средств для перемещения грунта

При разработке котлованов, а иногда и траншей, излишний грунт вывозится транспортными машинами, обычно автосамосвалами, грузоподъемность которых определяется из условия, чтобы в кузов машины вмещалось не менее 5 ковшей экскаватора при вместимости ковша до 0,5 м² и не менее 3 – при большей вместимости ковша.

Минимально допустимая грузоподъемность автосамосвала, т,

$$Q = pq \frac{K_н}{K_р} \gamma_0, \tag{3.19}$$

где p – минимальное количество ковшей, вмещаемое в кузов автосамосвала;

γ_0 – объемная масса грунта, $т/м^3$ (см. приложение Ж).

По значению Q и грузоподъемности выбирается тип автосамосвала (см. приложение М).

Количество автосамосвалов, необходимое для обеспечения непрерывной работы экскаватора,

$$N = \frac{T_{ц.т}}{t_п}, \tag{3.20}$$

где $T_{ц.т}$ – продолжительность цикла работы транспортной единицы, мин;

$t_п$ – время погрузки автосамосвала, мин.

В этой формуле все расчетные величины усреднены и считаются постоянными для данного комплекта машин. В действительности время цикла самосвала является случайной величиной и носит вероятностный характер, что требует применения для расчета комплекса экскаватор-автосамосвалы теории массового обслуживания. Отдельным студентам может быть задан расчет транспортного процесса с применением указанной теории

$$T_{\text{ц.т}} = t_{\text{у.п}} + t_{\text{п}} + \frac{60 \cdot 2L}{v} + t_{\text{у.р}} + t_{\text{р}} + t_{\text{м.п}} + t_{\text{м.р}} + t_{\text{п.с}}, \qquad (3.21)$$

где $t_{\text{у.п}}$, $t_{\text{у.р}}$ – расчетная продолжительность установки автосамосвала под погрузку и разгрузку, мин;

$t_{\text{п}}$ – продолжительность погрузки, мин;

L – среднее расстояние транспортирования грунта;

v – средняя расчетная скорость движения автосамосвала, км/ч, груженом и порожнем направлениях;

$t_{\text{р}}$ – расчетная продолжительность разгрузки автосамосвала, мин;

$t_{\text{м.п}}$, $t_{\text{м.р}}$ – расчетная продолжительность маневров автосамосвала на погрузке и разгрузке, мин;

$t_{\text{п.с}}$ – время на пропускание встречного автосамосвала (при одностороннем движении равно 1 мин).

Значения v, $t_{\text{п}}$, $t_{\text{у.п}}$, $t_{\text{у.р}}$, $t_{\text{м.п}}$, $t_{\text{м.р}}$ даются в приложении К. Продолжительность погрузки

$$t_{\text{п}} = \frac{n'}{nK_{\text{т}}}, \qquad (3.22)$$

где n' – количество ковшей грунта, загружаемого в кузов транспортной единицы,

$$n' = \frac{QK_{\text{р}}}{\gamma_0 q K_{\text{н}}}; \qquad (3.23)$$

n – количество циклов экскаватора в одну минуту;

$$n = \frac{60}{\text{Т}_{\text{ц}}}, \qquad (3.24)$$

Q – грузоподъемность принятого типа автосамосвала, т;

$T_{\text{ц}}$ – продолжительность одного цикла экскаватора, с (см. приложение К);

$K_{\text{т}}$ – коэффициент использования транспорта по времени, принимаемый равным 0,85–0,9 при n' менее 3 и 0,87–0,94 – при n' более 3 [15].

Полученное значение n' округляется до целых единиц, при этом перегруз автосамосвала не должен превышать 5 %, а недогруз – 10 %.

Пример 3.13. Для рытья котлована в лессовидном суглинке принят экскаватор обратная лопата ЭО-652 с вместимостью ковша 0,8 $м^3$ (ковш со сплошной режущей кромкой). Самосвалы подаются к экскаватору без осаживания назад. Движение автосамосвалов у экскаватора осуществляется в одном направлении (без необходимости пропуска встречных машин).

Грунт транспортируется на расстояние 1 км, где разгружается без осаживания назад автосамосвалов.

Требуется выбрать тип автосамосвала и определить их количество. В рассматриваемом примере q = 0,8 $м^3$; $K_н$ = 1,0 (см. приложение Е); $K_р$ = 1,2; γ_0 = = 1,6 (см. приложение Ж); p = 3; $K_т$ = 0,90.

Решение. Выбор типа автосамосвала осуществляется на основе предварительного расчета требуемой грузоподъемности

$$Q = 3 \cdot 0,8 \cdot \frac{1}{1,2} \cdot 1,6 = 3,2 \text{ т.}$$

Принимается автосамосвал ЗИЛ-555 грузоподъемностью $Q_а$ = 4,5 т (см. приложение М).

Уточняется количество ковшей грунта, загружаемого в кузов ЗИЛ-555,

$$n' = \frac{4,5 \cdot 1,2}{1,6 \cdot 0,8 \cdot 1,0} = 4,2 \text{ ковша.}$$

Принято 4 ковша, недогруз в этом случае:

$$\frac{4,2 - 4,0}{4,2} \cdot 100 = 4,8\ \%, \text{ что ниже допустимых } 10\ \%.$$

$$T_ц = 24 \cdot 1,16 \cong 28 \text{ с (см. приложение К);}$$

$$n = \frac{60}{28} = 2,14 \text{ цикла/мин;}$$

$$t_п = \frac{4}{2,14 \cdot 0,90} = 2,07 \text{ мин.}$$

На основании приложения К устанавливаем: $t_{у.п}$ = 0,3 мин; $t_{у.р}$ = 0,6 мин; $T_р$ = 0,8 мин; $t_{м.п}$ = 0,25 мин; $t_{м.р}$ = 0,4 мин; $t_{п.с}$ = 0 мин; v = 16 км/ч.

Тогда

$$T_{\text{ц.т}} = 0,3 + 2,07 + \frac{60 \cdot 2 \cdot 1}{16} + 0,6 + 0,8 + 0,25 + 0,4 = 11,92 \text{ мин};$$

$$N = \frac{11,92}{2,07} = 5,8. \text{ Принято 6 автосамосвалов.}$$

3.8 Выбор и расчет средств механизации для обратной засыпки и уплотнения грунта

После выполнения работ по устройству подземного сооружения (установка фундамента, укладка трубы и т. д.) осуществляется обратная засыпка оставшегося пространства в котловане или траншее и, при необходимости, уплотнение грунта.

Обратная засыпка осуществляется бульдозером на базе тракторов небольшой мощности (N = 50...100 л. с.). Это обусловливается сравнительно небольшими объемами работ, а также необходимостью в большинстве случаев одновременного уплотнения грунта. Необходимость уплотнения грунтов устанавливается по нормативным документам. Техническая характеристика бульдозера может быть взята из приложения И. Часовая и сменная производительность бульдозера определяется на основании ЕНиР [20].

При отсутствии необходимости в уплотнении грунтов по полученной производительности бульдозера определяется **срок выполнения работ *T***

$$T = \frac{V}{\text{П}_\text{с}\text{К}}, \tag{3.25}$$

где V – объем работ, $м^3$;

$\text{П}_\text{с}$ – сменная производительность бульдозера, $м^3$;

К – количество смен в сутках (1 или 2).

Уплотнение грунтов при их обратной засыпке может осуществляться самыми различными средствами. Поскольку в условиях обратной засыпки котлованов и траншей имеют место стесненность фронта работ и опасность разрушения уложенных конструкций, то применение могут находить лишь малогабаритные, не создающие больших динамических воздействий средства. В то же время следует избегать применения трудоемких и малопроизводительных ручных пневмо- и электротрамбовок. Наиболее целесообразными являются самопередвигающиеся вибротрамбовки, навесные гидроуплотнители (стрела крана или экскаватора), а также легкие вибрационные катки (рисунок 3.21). Применение глубинных гидроуплотнителей эффективно в песчаных грунтах при невысокой их влажности [1, 6].

При выборе уплотнительных средств и производстве уплотнения грунтов необходимо предусматривать меры против повреждения подземных сооружений.

Пример 3.14. Произвести обратную засыпку пазух котлованов после устройства фундаментов под колонны с уплотнением грунта. Котлованы имеют трапециевидную форму и размеры, приведенные на рисунке 3.21. Объем грунта обратной засыпки в котлован 66 $м^3$. Необходимо засыпать 12 котлованов с объемом засыпки $66 \cdot 12 = 792$ $м^3$. Грунт – суглинок легкий – находится на расстоянии 4–6 м от котлована (см. рисунок 3.21, *б*).

В случае применения нескольких электротрамбовок следует предусмотреть интервал между ними не менее 5 м. Из-за стесненности в условиях примера работа катка предусмотрена челночной вдоль траншеи (см. рисунок 3.21, *а*).

Решение. Для предохранения фундамента от повреждения грунт на расстоянии до 0,8 м от его граней и на высоту до 0,4 м от его горизонтальных плоскостей уплотняется электротрамбовкой С-958 производительностью 42 $м^3$/смену.

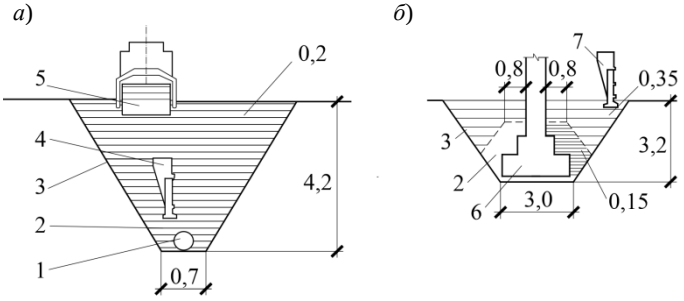


Рисунок 3.21 – Схема производства работ по обратной засыпке и уплотнению грунта: *а* – в траншее; *б* – в котловане; *1* – уложенная труба; *2* – грунт, уплотняемый за первый прием; *3* – то же за второй прием; *4* – электротрамбовка С-985; *5* – виброкаток Д-484а; *6* – фундамент; *7* – уплотнитель ГУ-2 (все размеры в метрах)

Объем уплотненного грунта в одном котловане 19,6 $м^3$, а всего 236 $м^3$. Поскольку суглинок легкий более трудно уплотняется, то толщина слоев принята равной 0,15 м (см. рисунок 3.21).

Продолжительность работы электротрамбовки С-958 на всех котлованах

$$\frac{236}{42} = 5,6 \text{ смены или } 44,8 \text{ ч.}$$

Для уплотнения верхнего слоя принят навесной гидроуплотнитель ГУ-2 (к экскаватору ЭО-153), имеющий производительность 140 $м^3$/смену и

максимальную толщину слоя уплотнения 0,5 м (см. приложение Л). Принята толщина слоя уплотнения 0,35 м (см. рисунок 3.21, *б*).

Продолжительность работы уплотнителя ГУ-2 на всех котлованах

$$\frac{742-236}{140}=4 \text{ смены или } 32 \text{ ч.}$$

Общая продолжительность работы механизмов по уплотнению грунта

$$45+32=77 \text{ ч (10 смен).}$$

Обратная засыпка предусмотрена грейфером вместимостью 0,25 $м^3$, подвешенным к стреле экскаватора ЭО-257. Производительность экскаватора составит 196 $м^3/$смену, что потребует работу его в течение

$$\frac{792}{196}=4 \text{ смен.}$$

Пример 3.15. Произвести обратную засыпку пазух котлована с отдельно стоящими фундаментами под колонны (рисунок 3.22).

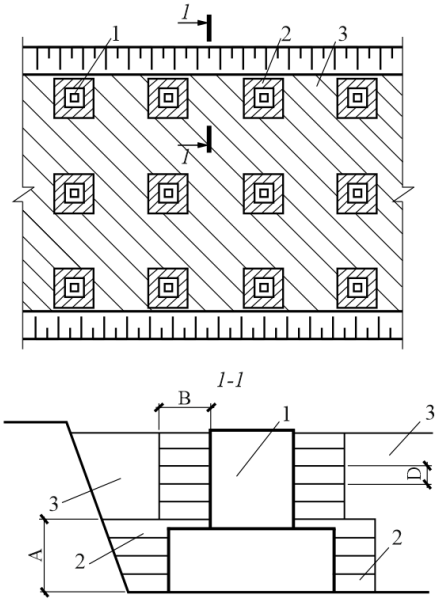


Рисунок 3.22 – Схема обратной засыпки и уплотнения грунта в пазухах котлована:
1 – фундамент; *2* – зона уплотнения грунта ручными трамбовками; *3* – зона уплотнения грунта механическими трамбовками;
A = 1000 мм, *B* = 500 мм, *D* = 200 мм

Решение. В общем случае засыпка пазух производится послойно экскаваторами, экскаваторами-планировщиками, бульдозерами. При этом толщина засыпаемого слоя для песка должна быть не более 70 см; для супеси и суглинка – 60 см, для глины – 50 см. Уплотнение засыпаемого грунта в пазухах и между фундаментами осуществляется гидромолотами типа СП-62, СП-71, «РАММЕР», виброплитами ДУ-90, ДУ-91, ДУ-12Б, навесными трамбовками и т. п. Грунт уплотняют, начиная с зон возле конструкций здания, а затем двигаются в направлении к краю откоса, при этом каждый последующий проход трамбующей машины должен перекрывать след предыдущей на 10–20 см.

При работе по уплотнению грунта вблизи конструкций должны применяться ручные трамбовки (электро-, пневмо-) типа ИЭ-4505, ИЭ-4502А. При этом толщина отсыпаемого слоя должна быть не более 25 см и количество проходов – не менее 4 [6, 10].

3.9 Технико-экономические показатели работы экскаваторного комплекта машин

В качестве основных технико-экономических показателей в курсовом проекте определяются себестоимость, трудоемкость и энергоемкость земляных работ при рытье котлована или траншеи и их обратной засыпке без учета возможных затрат на водоотлив, водопонижение и крепление разработки. Эти затраты должны учитываться при дипломном проектировании.

Себестоимость работ, руб., в общем виде

$$C = 1,1C_{маш.см} + 1,65C_т + 1,1C_м, \tag{3.26}$$

где $C_{маш.см}$ – стоимость машино-смен всех машин комплекта;

$C_т$ – затраты денежных средств на заработную плату рабочих, не связанных с управлением машины (содержание землевозных дорог, забоя и др.);

$C_м$ – затраты денежных средств на вспомогательные материалы;

1,1; 1,65 – коэффициенты, учитывающие накладные расходы, связанные с использованием машин, вспомогательных рабочих и материалов.

Трудоемкость работ, чел.-дн.,

$$T = \sum m_i t_i + t, \tag{3.27}$$

где m_i – количество рабочих, занятых управлением соответствующей машины (см. приложение К);

t_i – продолжительность работы каждой машины в сменах;

t – нормативные затраты труда рабочих, не связанных с управлением машины, чел.-дн. [11].

Энергоемкость работ, л. с.,

$$Э = \sum N_{маш.см} N, \tag{3.28}$$

где $N_{маш.см}$ – количество машино-смен, отработанных каждой машиной;

N – мощность каждой машины, л. с.

По полученным значениям С, Т, и Э определяются **удельные себестоимость, руб./м³, трудоемкость, чел.-дн./м³, и энергоемкость, л.с./чел.-дн.,**

$$С_{уд} = \frac{С}{V}; \tag{3.29}$$

$$t_{уд} = \frac{Т}{V}; \tag{3.30}$$

$$Э_{уд} = \frac{Э}{Т}. \tag{3.31}$$

где V – объем работ, м^3;

Т – трудоемкость работ, чел.-дн.

Рекомендуется определение технико-экономических показателей производить в табличной форме.

3.10 Основные требования техники безопасности при разработке котлованов и траншей

В курсовом проекте необходимо предусмотреть меры, обеспечивающие устойчивость откосов разрабатываемых котлованов и траншей.

Отрывка котлованов и траншей с вертикальными стенками без креплений разрешается только в грунтах естественной влажности с ненарушенной структурой и при отсутствии грунтовых вод. **Допускаемая глубина** не более: 1 м – в песчаных и гравелистых грунтах; 1,25 м – в супесях; 1,5 м – в суглинках и глинах; 2,0 м – в особо плотных грунтах. Крутизну откосов более глубоких котлованов и траншей без креплений принимают по данным приложения В. При рытье траншей многоковшовым экскаватором в плотных связных грунтах для укладки трубопроводов плетями допускаются вертикальные стенки на глубину до 3 м. При этом спуск рабочих в траншею не разрешается. В местах траншеи, где требуется пребывание рабочих, необхо-

димо устраивать местные откосы или **крепления**. Крутизну откосов в глинистых грунтах, переувлажненных дождевыми, талыми и другими водами, следует уменьшать против указанной в приложении В с доведением ее до значения 1 : 1. Грунт, вынутый из траншеи или котлована, следует разгружать на расстоянии не менее 0,5 м от бровки при высоте отвала не более 2 м. В местах расположения действующих подземных коммуникаций земляные работы допускаются только после принятия мер, исключающих **повреждение коммуникаций**, и при наличии письменного разрешения соответствующих организаций, ответственных за их эксплуатацию. При обнаружении подземных коммуникаций, не обозначенных в исполнительной документации, земляные работы следует приостановить и вызвать представителя организации, эксплуатирующей эти коммуникации [13].

3.11 Составление операционной технологической карты на разработку котлована или траншеи

В курсовом проекте составляется операционная технологическая карта работы экскаваторного комплекта по разработке котлована или траншеи и их обратной засыпке.

В технологической карте приводятся масштабные схемы котлована или траншеи экскаваторного забоя с указанием места складирования грунта или места установки транспортных средств. На схемах котлована (траншеи) показываются направление движения, номера стоянок экскаватора и месторасположение отдельных его проходок. Приводятся схемы, иллюстрирующие работы по обратной засыпке и уплотнению грунта в пазухах фундаментов и траншеях. В технологической карте приводятся описание методов производства земляных работ, расчет забоя экскаватора, наименование и техническая характеристика используемых механизмов, объем и срок производства работ, состав экскаваторного комплекта, машин, состав обслуживающей бригады, расход основных эксплуатационных материалов и топливах [19].

В технологической карте приводятся основные технико-экономические показатели и основные положения по охране труда и технике безопасности при работе экскаваторного комплекта машин [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Вавилов, А. В.* Строительные машины и оборудование : учеб. пособие / А. В. Вавилов, А. Л. Дашко, А. А. Замула ; под общ. ред. А. В. Вавилова. – Минск : РИПО, 2021. – 330 с.

2 *Ветров, Ю. А.* Экскаваторный забой / Ю. А. Ветров. – Киев : Гостехиздат, 1955. – 212 с.

3 *Вильман, Ю. А.* Технология строительных процессов и возведения зданий. Современные прогрессивные методы : учеб. пособие для строит. вузов / Ю. А. Вильман. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : АСВ, 2008. – 335 с.

4 *Горячева, И. А.* Производство земляных работ и устройство фундаментов : учеб.-метод. пособие по выполнению курс. проекта по дисциплине «Технология строительного производства» для студентов специальности 1 70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / И. А. Горячева, Г. Г. Мадалинский. – Минск : БНТУ, 2005. – 110 с.

5 *Данилкин, М. С.* Основы строительного производства : учеб. пособие / М. С. Данилкин, И. А. Мартыненко, С. Г. Страданченко. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 474 с.

6 Дорожно-строительные машины : учеб. для студентов вузов специальности «Строительство дорог и транспортных объектов» / А. В. Вавилов, И. И. Леонович, А. Н. Максименко [и др.] ; под общ. ред. А. М. Щемелева. – Минск : Технопринт, 2000. – 515 с.

7 Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сб. Е2. Земляные работы. Вып. 1. Механизированные и ручные земляные работы. – М. : Атомиздат, 1989. – 195 с.

8 СН 1.02.01-2019. Инженерные изыскания для строительства. – Введ. 21.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 113 с.

9 Машины для земляных работ : учеб. для студентов втузов по специальности «Строительные и дорожные машины и оборудование» / Н. Г. Гаркави, В. И. Аринченков, В. В. Карпов [и др.] ; под общ. ред. Н. Г. Гаркави. – М. : Высш. школа, 1982. – 335 с.

10 *Николаев, В. М.* Уплотнение и закрепление грунтов в стесненных условиях строительного производства / В. М. Николаев, В. П. Горбанев. – М. : Стройиздат, 1968. – 152 с.

11 Нормы затрат труда на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сб. 2. Земляные работы. Вып. 1. Механизированные и ручные земляные работы. – Минск, 2009. – 190 с.

12 *Пантюхов, О. Е.* Производство земляных работ на строительной площадке : пособие по курс. и дипл. проектированию / О. Е. Пантюхов, Е. О. Пантюхов. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 104 с.

13 Правила по охране труда при выполнении строительных работ : утв. постановлением М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь, М-ва архит. и стр-ва Респ. Беларусь от 31.05.2019 № 24/33 : с изм. и доп., внесенными постановлением от 07.04.2026 № 18/26. – Минск, 2019. – 108 с.

14 Производство земляных работ и устройство фундаментов. Практикум : учеб. пособие / сост. Е. Г. Кремнева. – Минск : Новое знание, 2008. – 171 с.

15 *Соколов, Г. К.* Технология строительного производства : учеб. пособие для вузов / Г. К. Соколов. – 2-е изд., перераб. – М. : Академия, 2007. – 539 с.

16 Технология строительного производства : учеб. для вузов / С. С. Атаев, В. А. Бондарик, И. Н. Громов [и др.] ; под общ. ред. С. С. Атаева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Выш. школа, 1985. – 351 с.

17 Технология строительного производства : курсовое и дипломное проектирование / сост. В. М. Шаповалов, О. Е. Пантюхов, В. П. Дубодел [и др.] . – Мозырь : МГПУ им. И. П. Шамякина, 2012. – 180 с.

18 Технология строительных процессов : учеб. / А. А. Афанасьев, Н. Н. Данилов, В. Д. Копылов [и др.] ; под ред. Н. Н. Данилова, О. М. Терентьева. – 2-е изд., перераб. – М. : Высш. школа, 2000. – 464 с.

19 Типовые технологические карты на производство механизированных земляных работ. – М. : Госстройиздат, 1983. – 51 с.

20 *Шестопалов, К. К.* Машины для земляных работ : учеб. пособие / К. К. Шестопалов. – М. : МАДИ, 2011. – 145 с.

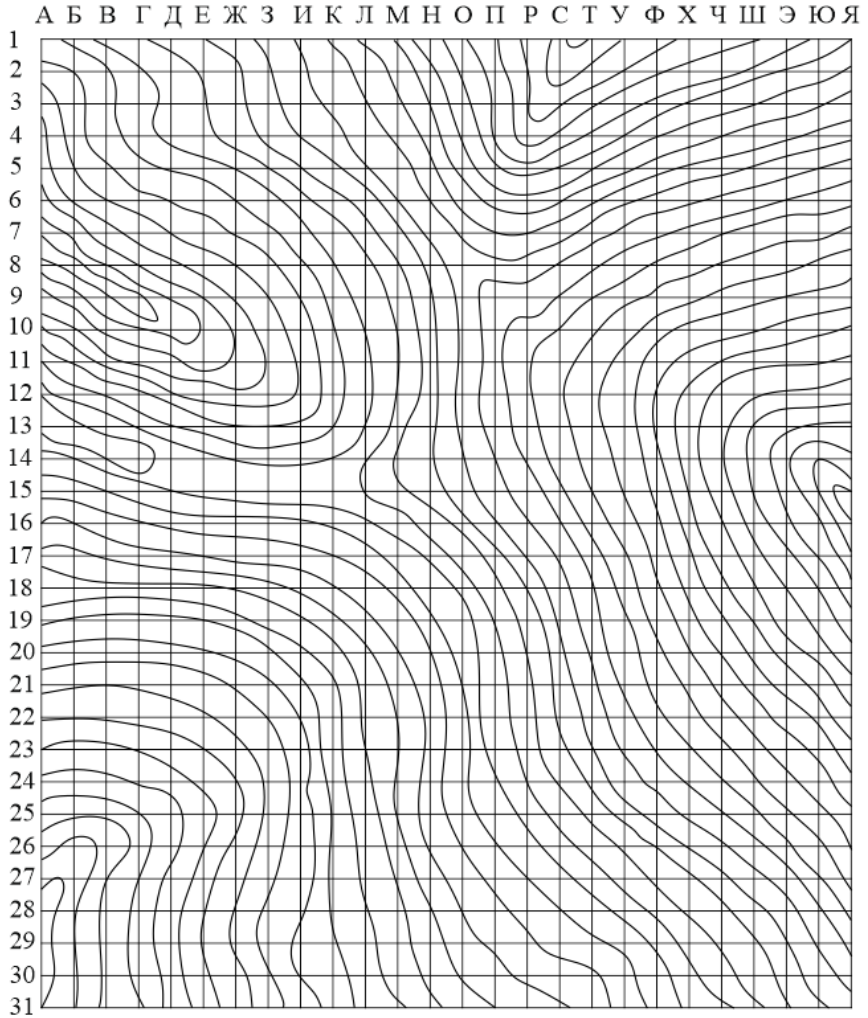
21 Экскаваторные работы / А. И. Астахов, А. П. Дегтярев, В. И. Дубинин [и др.] ; под ред. инж. А. П. Дегтярева. – М. : Стройиздат, 1988. – 109 с.

22 Экскаваторы и стреловые краны : каталог-справочник / М-во строит., дор. и коммун. машиностроения. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1988. – 320 с.

23 *Юфин, А. П.* Гидромеханизация / А. П. Юфин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1985. – 450 с.

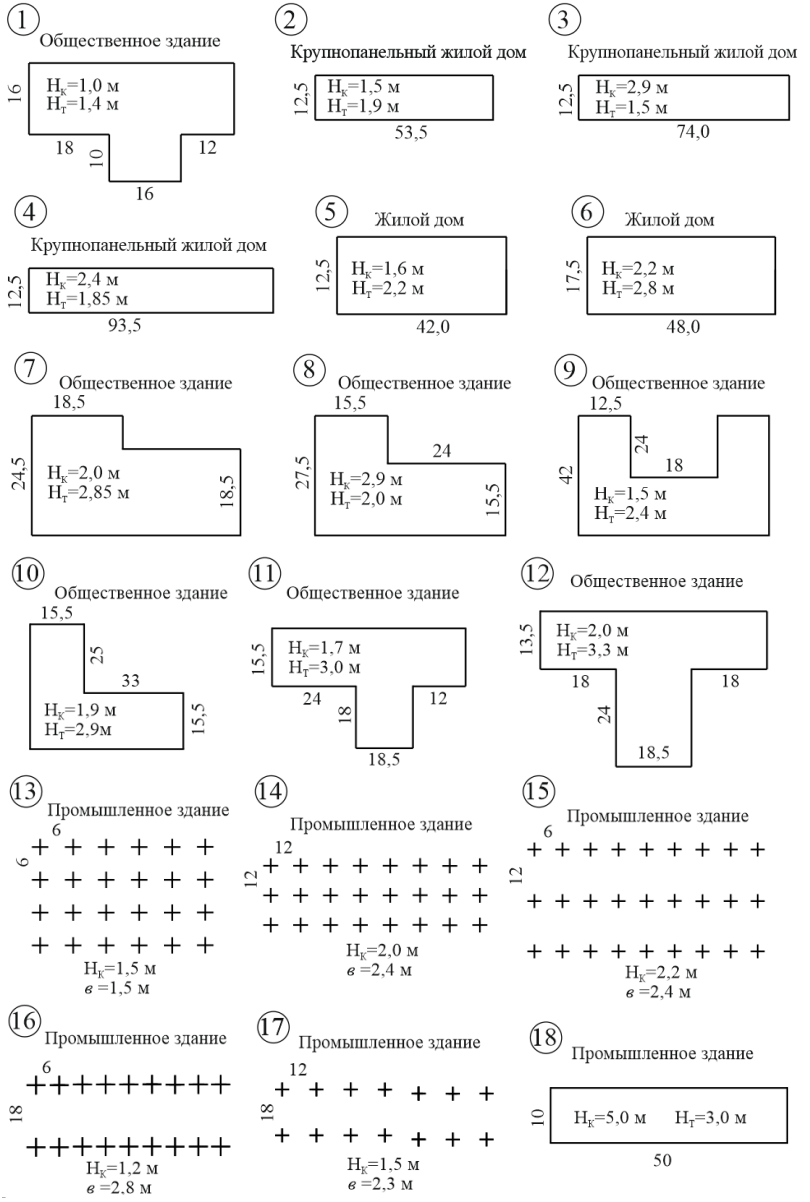
ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Общий план участка местности



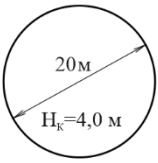
ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Варианты строящихся зданий



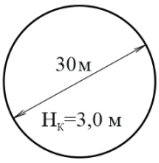
19

Резервуар



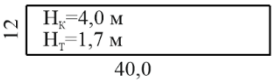
20

Резервуар



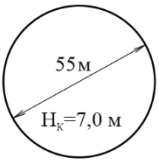
21

Промышленное здание



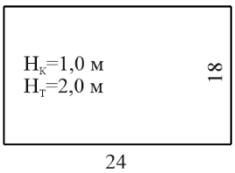
22

Резервуар



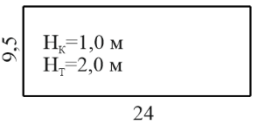
23

Промышленное здание



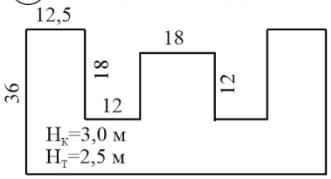
24

Вокзал



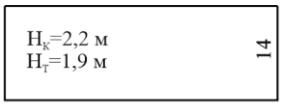
25

Общественное здание



26

Крупнопанельный жилой дом



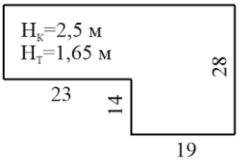
27

Жилой дом



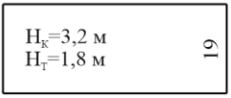
28

Общественное здание



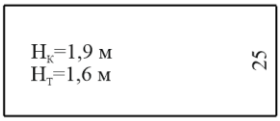
29

Общественное здание



30

Общественное здание



ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

Наибольшая допустимая крутизна откосов котлованов и траншей

Грунт	Отношение высоты откоса к его заложению при глубине выемки, м		
	до 1,5	1,5–3	3–5*
Насыпной естественной влажности	1 : 0,25	1 : 1	1 : 1,25
Песчаный и гравийный влажный, но ненасыщенный	1 : 0,5	1 : 1	1 : 1
Глинистый естественной влажности:			
супесь	1 : 0,25	1 : 0,67	1 : 0,85
суглинок	1 : 0	1 : 0,5	1 : 0,75
глина	1 : 0	1 : 0,25	1 : 0,5
Лессовидный сухой	1 : 0	1 : 0,5	1 : 0,5

* При глубине выемки более 5 м крутизна откосов устанавливается по расчету.

Примечания

1 При напластовании различных видов грунта крутизну откоса для всех пластов надлежит назначать по более слабому виду грунта.

2 К насыпным грунтам относятся грунты, пролежавшие в отвалах менее 6 месяцев и не подвергавшиеся искусственному уплотнению.

3 Максимальная глубина выемки при вертикальных откосах в грунтах естественной влажности при отсутствии грунтовых вод, м:

– песчаные и гравелистые грунты – 1;
– супеси – 1,25;
– суглинки и глины – 1,5;
– особо плотные нескальные грунты – 2.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(справочное)

Пример определения средневзвешенных расстояний транспортировки грунта

Номер фигуры		q, м³	l, м	ql	Принятая землеройно-транспортная машина
Выемка	Насыпь				
2	14	312	156	48 672	Скрепер
2	23	792	202	159 984	Скрепер
3	7	117	160	18 720	Скрепер
3	8	1212	198	239 976	Скрепер
3	13	36	92	3312	Скрепер
3	14	698	128	89 344	Скрепер
4	6	219	80	17 520	Скрепер
4	7	879	120	105 480	Скрепер
5	5	55	20	1100	Бульдозер
5	6	158	46	7268	Бульдозер
6	6	5	22	110	Бульдозер
10	15	196	200	39 200	Скрепер
10	16	547	224	122 528	Скрепер
10	29	1016	180	182 880	Скрепер
10	30	649	202	131 098	Скрепер
11	15	1469	160	235 040	Скрепер
12	12	22	20	440	Бульдозер
12	13	306	44	13 464	Бульдозер
13	13	1	10	10	Бульдозер
18	22	672	160	10 7520	Скрепер
18	23	552	200	11 0400	Скрепер
18	29	572	168	96 096	Скрепер
19	21	416	80	33 280	Скрепер
18	22	678	120	81 360	Скрепер
20	20	179	18	3222	Бульдозер
20	21	232	50	11 600	Бульдозер
25	28	775	120	93 000	Скрепер
25	29	229	160	36 640	Скрепер
26	26	1	15	15	Бульдозер
26	27	188	46	8648	Бульдозер
26	28	241	80	19 280	Скрепер
27	27	38	20	760	Бульдозер
Итого		1185	–	46 637	Бульдозерный комплект
		12 277	–	1 971 330	Скреперный комплект

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(справочное)

Рациональная область применения землеройных и землеройно-транспортных машин

Таблица Д.1 – **Рациональная область применения бульдозеров при планировке площадки**

Мощность тягача, л. с.	Рекомендуемая средняя дальность перемещения грунта, м	Примечание
50	До 30	Для выполнения небольших объемов земляных работ
54–75	До 40	Для выполнения средних объемов земляных работ в грунтах средней категории
80–130	До 60	Для работ в тяжелых грунтах при больших объемах земляных работ
140–300	До 150	Для работ в тяжелых грунтах при больших объемах земляных работ

Таблица Д.2 – **Рациональная область применения скреперов при планировке площадки**

Тип	Вместимость ковша, м³	Максимальное расстояние перемещения грунта, м	Минимальный объем земляных работ на участке, тыс. м³
Прицепные	1,5	250	1
	2,75	250	4
	6	350	10
	8	550	15
	10	750	20
	15	1000	25
Самоходные	6	1500	10
	10	2500	20
	15	5000	25

Таблица Д.3 – **Наименьший сосредоточенный объем работ одноковшового экскаватора**

Вместимость ковша, м³	Наименьший объем, тыс. м³
0,4	5
0,65	10
1	25

Таблица Д.4 – **Минимальные размеры забоя для одноковшового экскаватора**

Для прямой лопаты I–II				Для драглайна		Для обратной лопаты	
Вместимость ковша, м³	Глубина забоя при группе грунта, м			Вместимость ковша, м³	Глубина забоя, м	Вместимость ковша, м³	Глубина забоя, м
	I–II (легкий)	II (средний)	IV (тяжелый)				
0,25	1,5	2,3	3	0,4	0,25	0,25	1,2
0,65	1,5	2,5	3,5	0,65	0,3	0,65	1,5
0,8	2,5	4,5	5,5	1	0,4		
1	3	4,5	6				
1,6	3	4,5	6				
2	2,5	4	6				

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
(справочное)

Справочные данные для определения производительности машин

Таблица Е.1 – **Значения коэффициента наполнения $K_Н$ для скрепера**

Грунт	$K_Н$	Грунт	$K_Н$
Песок сухой	0,6–0,7	Тяжелые суглинки	1,0–1,1
Песок влажный	0,7–0,9	Глина сухая	1,0–1,1
Легкий суглинок и супеси	1,1–1,2	Чернозем влажный	1,1–1,25

Таблица Е.2 – **Коэффициент увеличения наполнения ковша скреперов при наборе грунта в наклонном забое**

Уклон забоя, %	0	4	6	8	10
Увеличение наполнения ковша	1	1,01	1,04	1,09	1,27

Таблица Е.3 – **Значения коэффициента наполнения ковша $K_Н$ для одноковшовых экскаваторов при работе в выемках**

Вместимость ковша, м³	Группа грунта					
	I	II	III	IV	V	VI
Прямая лопата						
0,15–0,3	1,1	1,0	0,9	–	–	–
0,5–1,5	1,1	1,0	0,9	0,85	0,75	0,75
2	1,0	1,0	0,9	0,85	0,75	0,75
3–4	1,0	1,0	0,9	0,78	0,6	0,6
Драглайн						
0,35	1,1	1,0	0,9	–	–	–
0,5–1,5	1,1	1,0	0,9	0,85	0,7	0,7
2	1,0	1,0	0,9	0,78	0,7	0,7

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(справочное)

Основные свойства грунта

Вид грунта	Плотность γ_o, кг/м³	Удельное сопротивление резанью K, кг/м³	Разрыхление грунта, %	
			первоначальное n	остаточное n'
Растительный грунт	1200	2500	20–25	3–4
Песок	1500–1600	5000–7000	10–15	2–5
Лесс мягкий	1600	2500	18–24	3–6
Лесс отвердевший	1800	11 000–17 000	24–30	4–7
Супесь	1650	5000–10 000	12–17	3–5
Суглинок легкий и лессовидный	1600	5000–10 000	18–24	3–6
Суглинок тяжелый	1750	9500–18 000	24–30	5–8
Глина мокрая жирная	1800	9000–18 000	24–30	4–7
Глина ломовая	1950	17 500–28 600	28–32	6–9

ПРИЛОЖЕНИЕ И
(справочное)

Исходные данные для определения тяговых характеристик машин

Таблица И.1 – **Допустимая толщина стружки грунта при разработке его скрепером или бульдозером**

В сантиметрах

Грунт	Вместимость ковша скрепера, м^3		
	6	10	15
	Мощность двигателя бульдозера или тягача скрепера, л. с.		
	80–100	130–180	250
Песок	20	30	30
Супесь суглинок	12	18	21
Глина	8	14	16

Таблица И.2 – **Значения коэффициента сцепления φ_0**

Состояние грунтовой дороги	Грузовые автомобили	Гусеничные тракторы		Колесные тягачи с шинами низкого давления	Колесные тракторы
		без шпор	со шпорами		
Сухая	0,6	0,9	1	–	–
Мокрая	0,3	0,8	0,9	–	0,6
Рыхлая	–	–	–	0,97	–
Плотная	–	–	–	0,9	–

Таблица И.3 – **Тяговые характеристики тягачей**

Показатель	Марка тягача					
	Т-75	Т-80	Т-100	Т-140	Т-180	ДЭТ-250
Мощность двигателя, л. с.	75	93	100	140	180	300
Вес тягача	6,05	11,7	11,7	15,1	15,2	25,2
Скорость движения (расчетная) на передаче, км/ч:						
I	3,59	3,59	4,56	4,56	6,31	1,08
II	4,65	4,65	5,61	5,61	7,40	8,12
III	5,43	5,43	6,44	6,44	8,09	9,36
IV	6,28	6,28	12,38	12,38	14,07	15,60
V	7,92	7,92	17,95	17,95	20,40	22,56
Тяговые усилия, кг, на крюке (расчетная) на передаче:						
I	2700	2850	9000	13 300	16 900	От 22 000 до 900
II	2000	2100	4450	6840	1350	»
III	1600	1750	3380	4930	5600	»
IV	1350	1450	2245	3390	4300	»
V	900	1000	1530	2200	3670	»

Таблица И.4 – **Технические характеристики тракторных рыхлителей**

Показатель	Марка рыхлителя			
	Д-671С	ДП-9С	ДП-9С-1	ДП-10С
Тип трактора	Т-270	ДЭ-250М	ДЭ-250М	Т-330
Наибольшая глубина рыхления, мм	500	700	1200	700
Число зубьев, шт.	1–3	1–3	1	1–3
Ширина рыхления, мм	104–2984	105–3165	105	105–2145
Управление	Гидравлическое			

Таблица И.5 – **Технические характеристики бульдозеров**

Показатель	Марка бульдозера					
	ДЗ-37	ДЗ-71	ДЗ-29	ДЗ-9	ДЗ-51	ДЗ-18
Тип отвала	Неповоротный				Поворотный	
Длина отвала, мм	2000	2000	2560	3350	4570	3940
Высота отвала, мм	600	628	800	1200	1200	815
Управление	Гидравлическое					Канат-ное
Марка трактора	МТЗ-52	Т-50АП	Т-74	Т-180	Т-200	Т-100МГ

Таблица И.6 – **Технические характеристики скреперов**

Показатель	Марка скрепера							
	прицепного				самоходного			
	ДЗ-33	ДЗ-697	ДЗ-12	ДЗ-213А	ДЗ-511	ДЗ-375М	ДЗ-567	ДЗ-13
Вместимость ковша, м³	3	4,5	7	10	15	8	10	15
Ширина захвата, м	2,1	2,42	2,62	2,82	2,85	2,75	2,75	2,85
Максимальная глубина резания, м	0,2	0,25	0,32	0,35	0,35	0,3	0,3	0,36
Максимальный слой отсыпки, м	0,35	0,40	0,50	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Габаритная длина, м	5,6	6,2	8,4	9,1	11,3	10,2	11,1	11,6
Наименьшая ширина разворота, м	6	9	13	15	19	19	–	–
Управление	Гидравлическое		Канатное		Гидравлическое			
Марка трактора тягача	Т-74	ТП-4	Т-100М	Т-180	ДЭТ-250	МАЗ-529Е	МАЗ-546	БелАЗ-531

ПРИЛОЖЕНИЕ К
(справочное)

Исходные данные для определения технико-экономических показателей машин

Таблица К.1 – **Продолжительность цикла $T_Ц$ одноковшового экскаватора при разработке грунтов с погрузкой их в транспортное средство**

В секундах

Вместимость ковша, м³	Группа грунта						Вместимость ковша, м³	Группа грунта					
	I	II	III	IV	V	VI		I	II	III	IV	V	VI
Прямая лопата							Драглайн						
0,15	29	36	44	–	–	–	0,35	24	28	35	–	–	–
0,25	24	28	34	–	–	–	0,5	22	24	29	37	38	40
0,5	20	24	25	32	34	39	0,65	22	24	28	36	38	40
0,65	21	25	27	32	33	38	0,75	23	25	30	36	38	40
0,8	21	25	27	34	34	40	1,0	26	29	34	42	44	46
1	24	28	30	39	39	45	1,5	26	32	33	45	46	47
1,25	24	28	29	38	43	48	2	29	33	37	46	46	55
1,5	24	28	30	39	44	48							
2	27	31	35	45	47	50							
3	33	33	43	50	53	57							

Таблица К.2 – **Значения коэффициента использования рабочего времени $K_В$ экскаватора в смену при разработке грунта с погрузкой в транспортные средства**

Вместимость ковша, м³	Группа грунта					
	I	II	III	IV	V	VI
Прямая лопата						
0,15–0,3	0,66	0,69	0,69	–	–	–
0,5–1,0	0,66	0,69	0,69	0,72	0,68	0,65
1,25–1,5	0,65	0,68	0,68	0,71	0,66	0,65
2–4	0,68	0,71	0,71	0,74	0,7	0,68
Драглайн						
0,35	0,65	0,67	0,68	–	–	–
0,5–1	0,65	0,67	0,68	0,71	0,66	0,64
1,5–2	0,67	0,69	0,7	0,73	0,68	0,67

Таблица К.3 – **Состав рабочих на бульдозерные работы на одну машину**

Профессия	Разряд при мощности трактора, л. с.		
	до 60	75–80	100 и более
Машинист бульдозера	4	5	6

Таблица К.4 – **Расчетная продолжительность разгрузки $t_р$, установки под погрузку $t_{у.п}$, разгрузку $t_{у.р}$, маневров на погрузке $t_{м.п}$ и разгрузке $t_{м.р}$ автосамосвалов**

В минутах

Индексы операций	Грузоподъемность автосамосвала, т				
	2,25	3,5	5	10	25
$t_р$	0,3	0,6	1,0	0,83	1,33
$t_{у.п}$	0,2	0,4	0,3	0,3	0,5
$t_{у.р}$	0,4	0,6	0,6	0,6	1,0
$t_{м.п}$					
Движение без осаживания назад	0,2	0,2	0,25	0,25	0,4
Движение с осаживанием назад	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
$t_{м.р}$					
Движение без осаживания назад	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5
Движение с осаживанием назад	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2

Таблица К.5 – **Состав рабочих на скреперные работы на одну машину**

Профессия	Разряд при мощности тягача, л. с.		
	до 60	75–100	100 и более
Машинист скрепера	4	5	6
Машинист-телефонист на передвижной электростанции	4	4	4

Таблица К.6 – **Состав рабочих на экскаваторные работы на одну машину**

Профессия	Прямая и обратная лопата				Драглайн		
	Разряд при вместимости ковша, м³						
	0,15	0,25–0,4	0,5–2	2,5 и более	0,35–0,4	0,5–2	2,5 и более
Машинист экскаватора	4	5	6	Вне разряда	5	6	Вне разряда
Помощник машиниста экскаватора	–	–	5	5	–	5	5
Машинист-телефонист на передвижной станции	4	4	4–5	5	4	4–5	5

Таблица К.7 – **Характеристики машин для валки деревьев и корчевки пней, срезки кустарника и спиливания деревьев**

Показатель	Корчевка и валка деревьев			Срезка кустарника			Спиливание деревьев
	бульдозером	корчевателями		бульдозером	корчевателями		бензопилой «Дружба»
		Д-210В	ЦМНИИМЭ		Д-174В	Д-514	
Мощность базового трактора, л. с.	100	100	140	100	100	100	–
Ширина захвата (полосы расчистки), м	–	–	–	3,0	3,6	3,2	–
Наибольший диаметр срезаемых одиночных деревьев, см	–	–	–	15	25	25	120
Наибольший диаметр сваливаемых деревьев или корчуемых пней, см*	20 / 30	30 / 45	120 / 150	–	–	–	–
Наибольший вес выворачиваемых валунов, т	–	6	8	–	–	–	–
Эксплуатационная производительность в смену, га**	0,8–1	1–1,2	0,5–0,8	1,5–2	3–4	3–4	0,3–0,5
Количество обслуживающих рабочих	1	1	1	1	1	1	3

* В числителе диаметр деревьев или пней с вертикальными корнями, в знаменателе – с корнями, параллельными поверхностям.

** Производительность указана ориентировочно для средней густоты леса и кустарника.

ПРИЛОЖЕНИЕ Л
(справочное)

Технические характеристики экскаваторов

Таблица Л.1 – **Рабочие параметры экскаваторов с оборудованием прямой лопаты**

Показатель	Марка экскаватора											
	ЭО-2621А*	ЭО-302БС	ЭО-303Б	ЭО-652Б	ЭО-652БС	ЭО-4123*	ЭО-10011Д	ЭО-1251Б	ЭО-1251БС	ЭО-5125*	ЭО-2503	ЭО-2505
Вместимость ковша q, м³	0,3	0,4	0,4	0,7	0,7	0,8	1,0	1,3	1,3	1,6	2,5	2,5
Длина стрелы А, м	–	4,9	4,9	5,5	5,5	–	6,2	6,8	6,8	–	8,6	8,6
Длина рукояти Б, м	–	2,3	2,3	3,0	3,0	–	4,9	4,9	4,9	–	6,1	6,1
Угол наклона стрелы α, град	–	–	–	45	60	–	45	45	60	–	45	60
Наибольший радиус копания на уровне напорного вала R_{max}, м	4,7	5,9	6,1	7,8	7,2	7,4	9,2	9,9	9,1	8,9	12,0	12,0
Наибольший радиус копания на уровне стоянки экскаватора R_c, м	2,0	3,0	3,0	4,7	4,2	2,5	5,0	6,3	5,7	4,7	7,2	7,2
Высота напорного вала $H_в$,м	–	2,9	2,9	–	–	–	4,0	4,0	4,5	–	–	–
Наибольшая высота копания $H_к$, м	4,6	6,2	6,2	6,5	7,9	7,6	6,5	7,8	9,3	9,7	9,0	9,0
Глубина копания ниже уровня стоянки $h_к$, м	–	–	–	1,5	–	3,3	1,8	2,0	1,6	4,1	2,8	2,8
Наибольшая высота разгрузки $H_{р.max}$, м	3,3	4,3	3,9	4,5	5,6	5,4	5,0	5,1	6,6	5,1	6,4	6,4
Радиус разгрузки при наибольшей высоте $R_р$,м	3,0	4,5	4,5	6,5	5,4	4,1	7,4	8,3	7,1	4,6	10,2	10,2

Окончание таблицы Л.1

Показатель	Марка экскаватора											
	ЭО-2621А*	ЭО-302БС	ЭО-303Б	ЭО-652Б	ЭО-652БС	ЭО-4123*	ЭО-10011Д	ЭО-1251Б	ЭО-1251БС	ЭО-5125*	ЭО-2503	ЭО-2505
Наибольший радиус разгрузки $R_{р.max}$, м	–	5,4	5,4	7,2	6,5	–	8,3	8,9	8,3	–	10,8	10,8
Высота разгрузки при наибольшем радиусе разгрузки $H_р$,м	–	2,9	2,7	2,7	3,0	–	2,5	2,9	3,4	–	3,5	3,5
* Экскаватор с жесткой подвеской рабочего оборудования.												

Таблица Л.2 **– Рабочие параметры экскаватора с оборудованием обратной лопаты**

Показатель	Марка экскаватора							
	ЭО-302Б	ЭО-303Б	ЭО-304В	ЭО-652Б	ЭО-652БС	ЭО-10011Д	ЭО-1252Б	ЭО-1252БС
Вместимость ковша q, м^3	0,4	0,4	0,4	0,7	0,7	1,0	1,4	1,4
Длина стрелы А, м	4,9	4,9	4,9	5,5	5,5	–	7,8	7,8
Длина рукояти Б, м	2,3	2,3	2,3	2,8	2,8	–	3,2	3,2
Наибольший радиус копания на уровне стоянки экскаватора R_{max}, м	7,8	7,8	7,8	9,2	9,2	10,5	11,6	11,6
Наибольшая глубина копания, м:								
– для траншей $H_т$	4,0	4,3	4,2	5,8	5,8	4,0	7,3	7,3
– для котлована $H_к$	2,6	2,6	2,8	4,0	4,0	5,8	6,0	6,0
Конечный радиус разгрузки $R_{р.к}$, м	6,8	5,5	6,8	8,1	7,0	7,8	10,3	9,3
Начальная высота разгрузки $H_{р.н}$, м	3,1	2,8	2,9	2,3	3,1	4,2	3,3	4,2
Конечная высота разгрузки $H_{р.к}$, м	5,6	4,2	5,4	5,3	6,0	–	5,5	7,3
Начальный радиус разгрузки $R_{р.н}$, м	4,1	4,1	4,1	5,0	3,1	4,8	7,0	5,7

Таблица Л.3 – **Рабочие параметры экскаватора с оборудованием драглайна**

Марка экскаватора	Вместимость ковша q,м³	Длина стрелы А, м	Угол наклона стрелы к горизонту α, град	Наибольший радиус копания на уровне стоянки экскаватора R_{max}, м	Наибольшая глубина копания, м		Наибольший радиус разгрузки $R_{р.max}$, м	Наибольшая высота разгрузки $H_{р.max}$, м
					при головной проходке $H_Г$	при боковой проходке $H_Б$		
ЭО-302Б	0,4	10,5	–	11,1	7,6	5,3	10,0	6,3
ЭО-303Б			30	11,1	7,8	4,4	10,0	3,4
			45	10,2	6,1	3,8	8,3	6,0
ЭО-304В			30	11,1	7,8	4,4	10,0	3,4
			45	10,2	6,1	3,8	8,3	6,0
ЭО-652Б	0,8	10,0	30	11,1	7,3	4,4	10,0	3,5
			45	10,2	5,6	3,8	8,3	5,5
ЭО-652БС		13,0	30	14,3	10,0	6,6	12,5	5,3
			45	13,2	7,8	5,9	10,4	8,0
ЭО-10011Д	1,0	10,0	30	16,5	9,4	5,5	12,0	4,1
			45	12,0	7,4	4,4	10,2	6,6
ЭО-1251Б	1,0	15,0	30	16,5	9,5	6,0	14,6	5,3
	0,75		45	15,1	7,5	5,1	12,6	8,3
ЭО-1252Б ЭО-1252БС	0,8	17,5	30	18,3	9,5	6,0	16,7	6,5
	0,5		45	16,5	7,5	5,1	14,0	10,0
	1,0		30	27,4	20,6	14,0	23,8	10,8
		25,0	45	15,3	16,6	12,5	19,8	15,9
ЭО-2505	3,0	17,5	30	19,3	13,0	9,3	16,8	6,9
			45	17,5	10,2	6,5	14,0	10,5

Таблица Л.4 – **Характеристика многоковшовых траншейных цепных экскаваторов**

Показатель	Марка экскаватора			
	ЭТЦ-161	ЭТУ-354	ЭТУ-354А	ЭТУ-354*
Мощность двигателя, л. с.	55	54	54	54
Скорость рабочего хода, м/ч	40–100	14,2–132	12,5–114	9,25–82
Транспортная скорость, км/ч	5,65–25,80	0,46–4,24	0,46–4,24	1,86–3,00
Скорость резания, м/с	0,64–1,16	1,17	1,1	1
Вместимость ковша, л	–	45	–	–
Глубина разработки, м	1,6	3,5	3,5	2,5
Ширина разработки, м	0,2–0,4	0,8–1,1	0,8-1,1	0,7

Окончание таблицы Л.4

Показатель	Марка экскаватора			
	ЭТЦ-161	ЭТУ-354	ЭТУ-354А	ЭТУ-354*
Производительность в грунтах II группы, м³/ч	108	140	155	40
Габаритные размеры в транспортном положении, мм				
– высота	3500	3460	3460	3950
– длина	4830	9750	9900	8950
– ширина	2000	2680	3100	3100
Масса экскаватора, т	4,55	12,05	12,26	
* Экскаватор со сменным оборудованием для мерзлоты.				

Таблица Л.5 – **Характеристики многоковшовых траншейных роторных экскаваторов**

Показатель	Марка экскаватора					
	ЭТР-132А	ЭТР-161	ЭР-7АМ	ЭР-7Е	ЭТР-204	ЭТР-253
Базовая машина	Т-180	Т-74	Т-100М	Т-100М	Т-130Г	ДЭТ-250
Мощность двигателя, л. с.	170	75	108	108	140 / 160	350
Скорость рабочего хода, м/ч	71–1600	54–266	31–310	31–310	10–300	10–309
Транспортная скорость, км/ч	2,9–12,5	2,4–5,5	1,4–6,2	1,4–6,2	1,6–5,3	3,5–5,4
Диаметр ротора, мм	2600	2900	3500	3500	3550	4500
Количество ковшей, шт.	18	10	14	14	14	14
Вместимость ковша, л	–	701,6	90	90	140	250
Глубина разработки, м	1,3	1,6	2	1,7	2	2,5
Ширина разработки, м	0,27	0,8	1,2	1,4	1,2	1,8; 2,1
Производительность, м³/ч	280	300	500	500	650	1200
Габаритные размеры в транспортном положении, мм:						
– высота	11 800	8300	10 300	10 300	10 930	12 800
– длина	2950	2100	3220	3220	3200	3700
– ширина	3200	3160	3800	3800	4200	4800
Масса экскаватора, т	25,64	13,1	24,5	25,8	29,4	59,5

Таблица Л.6 – **Продолжительность цикла одноковшового экскаватора, оборудованного ковшом с зубьями при разработке котлованов и траншей**

В секундах

Оборудование экскаватора	Вместимость ковша, м³	Способ разработки							
		с погрузкой в транспортное средство				навымет			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
При разработке котлованов									
Прямая лопата	0,15	29	36	44	–	26	31	39	–
	0,25	24	28	34	–	21	24	30	–

Окончание таблицы Л.6

Оборудование экскаватора	Вместимость ковша, м³	Способ разработки							
		с погрузкой в транспортное средство				навымет			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
При разработке котлованов									
Прямая лопата	0,5	20	24	25	32	19	21	24	29
	0,65	21	25	27	32	20	21	23	29
	0,8	21	25	27	34	20	23	24	32
	1	24	28	30	39	23	26	27	33
	1,25	24	28	29	37	22	24	26	32
	1,5	24	28	29	39	22	24	26	33
Драглайн	0,25	26	29	33	–	24	28	32	–
	0,35	27	31	35	–	26	30	34	–
	0,5	25	28	31	40	24	17	30	37
	0,65	26	29	31	40	25	28	31	37
	1	30	34	37	46	30	31	36	43
Обратная лопата	0,15	32	38	–	–	29	35	–	–
	0,25	25	30	32	–	23	28	32	–
	0,3	25	29	32	–	23	28	31	–
	0,5	23	26	30	34	21	24	29	32
	0,65	24	28	31	35	22	26	28	33
При разработке траншей									
Обратная лопата	0,15	30	37	–	–	27	34	–	–
	0,25	24	29	32	–	21	27	30	–
	0,3	23	28	30	–	21	25	29	–
	0,5	21	26	29	34	20	23	28	30
	0,65	24	26	29	34	20	24	28	31

Таблица Л.7 – **Увеличение продолжительности цикла одноковшовых экскаваторов при замене стандартного ковша с зубьями на ковш увеличенной вместимости со сплошной режущей кромкой**

В процентах

Рабочее оборудование	Способ разработки грунта	
	с погрузкой в транспортное средство	навымет
Прямая лопата	5–10	8–13
Драглайн	11–21	11–12
Обратная лопата:		
– при разработке котлованов	12–20	15–24
– при разработке траншей	10–24	12–23

ПРИЛОЖЕНИЕ М
(справочное)

Технические характеристики транспортных машин

Таблица М.1 – **Характеристики автомобилей-самосвалов**

Марка	Грузоподъемность, т	Разгрузка	Основные размеры						Мощность двигателя, л. с.
			Длина, м	Ширина по кузову, м	Высота общая, м	Погрузочная высота, м	Радиус поворота наружный	Ширина колеи, м	
ЗИЛ-555	4,5	Назад	5,47	2,42	2,51	1,91	8,8	2,2	150
ГАЗ-3105	3,5	Вправо или влево	5,83	2,29	2,18	1,9	8,5	2,1	100
МАЗ-503Б	7	Назад	5,97	2,6	2,64	1,95	7	1,9	180
КраЗ-256Б	11	Назад	8,19	2,66	2,78	2,45	10,5	1,92	240
БелАЗ-540	27	Назад	7,25	3,48	3,58	3,05	8,5	2,4	360

Таблица М.2 – **Средняя скорость движения автосамосвалов**

Расстояние перевозки, км	Грузоподъемность, т			
	3,5	5	11	27
0,2	9	8	7,2	6,5
0,4	11,4	10,8	9,3	8,5
0,6	13,6	12,8	11,1	10
0,8	15,3	14,5	12,7	11,5
1	16,8	16	14	12,5
1,5	20	19,1	17,1	15,2
2	22,7	21,8	19,4	17,5
2,5	25	23,7	21	19
3	26,5	25	22	20
3,5	27,6	26,2	22,5	21
4,0 и более	28	27	23	22

ПРИЛОЖЕНИЕ Н
(справочное)

Группы грунта по трудности разработки [7]

Грунт	Средняя плотность в естественном залегании, кг/м^3	Разработка грунтов					Рыхление мерзлого грунта
		экскаваторами		скреперами	бульдозерами	грейдерами	бульдозерами-рыхлителями
		одноковшовыми	траншейными				
Глина жирная мягкая и мягкая без примесей	1800	II	II	II	II	II	IIм
Глина тяжелая ломовая*	1950–2150	IV	– / IV	–	III	–	IVм
Грунт растительного слоя без корней и примесей	1200	I	I	I	I	I	Iм
Грунт растительного слоя с корнями кустарника и деревьев	1200	I	II	I	II	–	–
Грунт растительного слоя с примесью щебня, гравия или строительного мусора	1400	I	II	I	II	–	IIм
Лесс мягкий без примесей	1600	I	II	I	I	I	Iм
Лесс твердый	1800	IV	–	II	III	–	IIм
Песок без примесей, а также с примесью щебня, гравия, гальки или строительного мусора до 10 % по объему	1600	I	II	II	II	II	Iм
Песок с примесью щебня, гравия, гальки или строительного мусора свыше 10 % по объему*	1700	I	– / II	II	II	–	IIм
Суглинок легкий и лессовидный без примесей	1700	I	I	I	I	I	Iм

Окончание таблицы

Грунт	Средняя плотность в естественном залегании, кг/м^3	Разработка грунтов					Рыхление мерзлого грунта
		экскаваторами		скрепе-рами	бульдо-зерами	грейде-рами	бульдо-зерами-рыхли-телями
		одноков-шовыми	тран-шей-ными				
Суглинок легкий и лессовидный с примесью щебня, гравия, гальки или строительного мусора до 10 % по объему	1700	I	II	I	I	I	IIIм
Суглинок тяжелый без примесей и с примесью щебня, гравия, гальки или строительного мусора до 10 % по объему*	1750	II	II / III	II	II	II	IIIм, IVм
Супесь без примесей, а также с примесью гравия, гальки, щебня или строительного мусора до 10 % по объему	1650	I	II	II	II	II	Iм, IIм
Супесь с примесью свыше 10 % по объему*	1850	I	– / II	II	II	–	IIм, IIIм

* В числителе группа грунта по трудности разработки экскаваторами траншейными цепными, в знаменателе – экскаваторами траншейными роторными.

Примечания

1 К мерзлым грунтам относятся грунты, содержащие в своем составе лед, изменяющий их структуру и свойства, присущие грунтам до замерзания.

2 Классификация грунтов по трудности их разработки (удельное сопротивление резанию) приводится в ЕНиР 2-1-1 «Земляные работы». Она учитывает свойства различных грунтов и конструктивные особенности землеройных и землеройно-транспортных машин, которые применяют для разработки грунтов.

ПРИЛОЖЕНИЕ П

(справочное)

Потребность в основных эксплуатационных материалах для работы комплекта машин

Таблица П.1 – **Потребность в основных эксплуатационных материалах для работы скреперного комплекта ДЗ-12**

Материал	Для двух скреперов ДЗ-12		Для рыхлителя ДП-9С		Для бульдозера ДЗ-9		Для ЖЭС-4		Для всего комплекта	
	на 1 час работы	на весь объем	на 1 час работы	на весь объем	на 1 час работы	на весь объем	на 1 час работы	на весь объем	на 1 час работы	на весь объем
Бензин, кг	0,23×2	64,4	0,23	12,4	0,23	22,5	1,4	98	2,32	197
Дизельное топливо, кг	11,6×2	325	9,2	498	9,2	90	–	–	41,6	384
Автомобильное масло, кг	0,015×2	4,2	0,01	0,5	0,01	1	0,05	3,5	0,1	9
Дизельное масло, кг	2	168	0,45	24	0,45	44	–	–	1,02	236
Индустриальное масло, кг	0,6×2	14	–	–	–	–	0,01	0,7	0,02	15
Трансмиссионное масло, кг	0,05×2	33,6	0,12	6,5	0,12	11,7	–	–	0,48	52
Солидол, кг	0,12×2	33,6	0,07	3,8	0,07	6,9	0,02	0,1	0,38	44
Канатная мазь, кг	0,12×2	28	–	–	0,06	5,9	–	–	0,26	34
Обтирочные материалы, кг	0,10×2	5,6	0,02	1,1	0,02	2	–	–	0,08	9
Отработанное время, маш.-ч	0,02×2	140	–	54	–	–	–	70	–	–

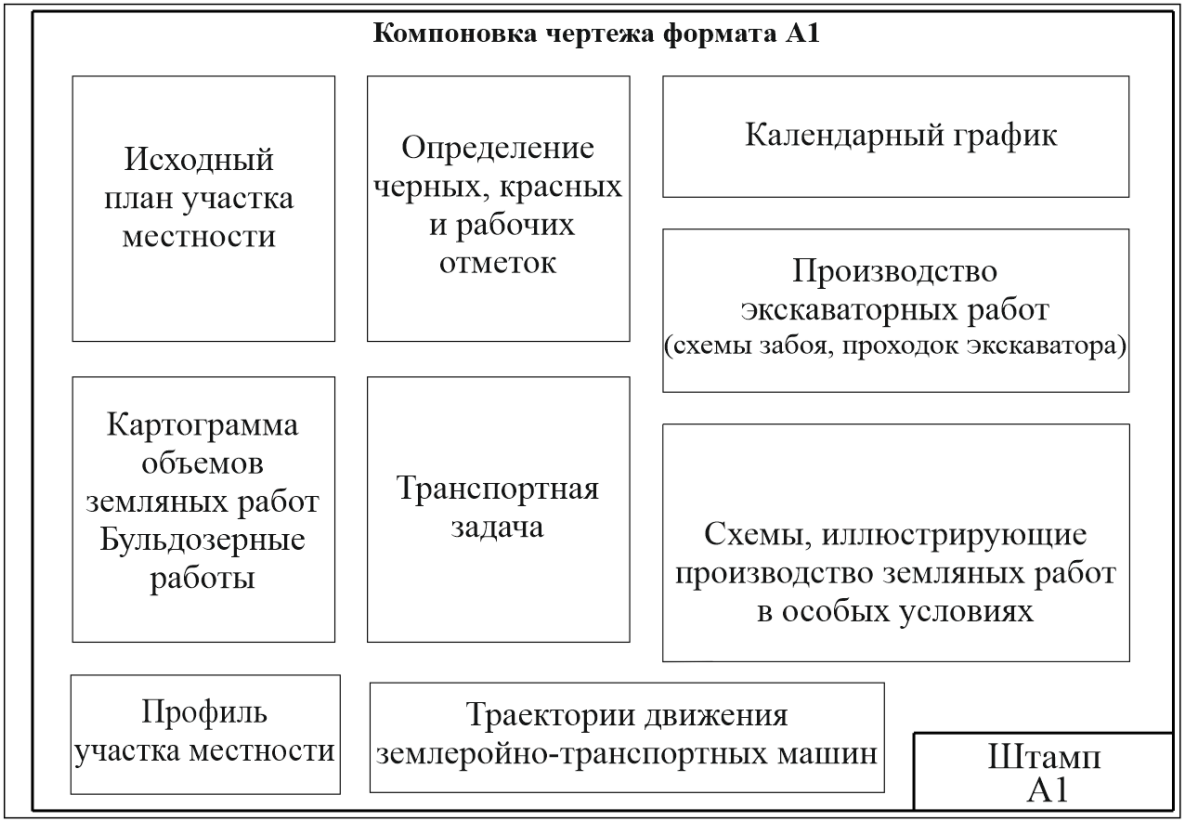
Таблица П.2 – **Потребность в основных эксплуатационных материалах для работы экскаваторного комплекта машин**

Материал	Для экскаватора ЭО-302Б		Для бульдозера ДЗ-449		Для виброкатка Д-484		Для всего комплекта
	на 1 час работы	на весь объем	на 1 час работы	на весь объем	на 1 час работы	на весь объем	на весь объем работ
Дизельное топливо, кг	5,4	43	6	18	1,6	–	61
Бензин, кг	0,03	0,24	0,1	0,3	8	0,32	8,54
Индустриальное масло, кг	0,04	0,32	0,1	0,3	0,064	0,1	0,62

Окончание таблицы П.2

Материал	Для экскаватора ЭО-302Б		Для бульдозера ДЗ-449		Для виброкатка Д-484		Для всего комплекта
	на 1 час работы	на весь объем	на 1 час работы	на весь объем	на 1 час работы	на весь объем	на весь объем работ
Автол, кг	–	–	–	–	0,02	0,05	0,32
Нигрол, кг	0,15	1,2	–	–	0,01	–	1,3
Солидол, кг	–	–	0,05	0,15	–	–	0,12
Графитная мазь, кг	0,12	0,96	–	–	–	–	0,96
Масло автомобильное, кг	–	–	0,04	1,012	–	–	0,01
Канатная мазь, кг	0,02	0,16	0,06	0,18	–	0,15	0,34
Дизельное масло, кг	–	–	0,3	0,9	0,03	0,1	0,9
Керосин, кг	0,05	0,4	0,02	0,06	0,02	–	0,61
Обтирочные материалы, кг	0,03	0,24	0,01	0,03	–	–	0,37
Стальной канат, кг	0,33	2,64	–	–	–	–	2,64
Отработанное время, маш.-ч	–	8	–	3	–	5	–

ПРИЛОЖЕНИЕ Р



Учебное издание

ШАФИЕВА Юлия Викторовна
ПАНТЮХОВ Олег Емельянович
ЯШИНА Татьяна Витальевна

ПРОИЗВОДСТВО ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

Пособие

Редактор *Д. В. Марцинкевич*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 22.10.2026 г. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 6,18 + 1 вкл. Уч.-изд. л. 6,74. Тираж 150 экз.
Зак. № 1645. Изд. № 29.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель.