

## ВВЕДЕНИЕ

Пособие предназначено для изучения и закрепления материала теоретического курса по дисциплинам «Технология и организация работ по строительству земляного полотна», «Технологические процессы в строительстве» раздела «Технология и организация работ по строительству земляного полотна».

В работе рассмотрены основные вопросы возведения земляного полотна: характеристика района строительства, определение сроков производства работ и объемов работ при возведении земляного полотна. Приводится последовательность технологических процессов при возведении земляного полотна, особенности их выполнения, основные характеристики используемых машин, подбор ведущих и вспомогательных машин, а также условия их эффективного использования. Рассмотрены вопросы определения параметров потока, последовательность построения технологической схемы возведения земляного полотна, линейного календарного графика и эпюр потребности автомобильного транспорта.

Особое внимание уделено основным положениям выполнения производственного контроля, а также экологической безопасности при выполнении дорожно-строительных работ.

Параллельно с изложением основных положений теоретического курса приводится решение практических задач на примере выполнения курсового проекта, что способствует повышению эффективности усвоения материала студентами.

*Пример рассмотрен на основании следующих исходных данных:*

*Район строительства – юг Омской области.*

*Характеристика грунтов: суглинок легкий.*

*Плотность грунта  $\rho_{d\max} = 1,62 \text{ г/см}^3$ .*

*Влажность грунта на границе текучести  $W_L = 30 \%$ .*

*Фактическая (естественная) влажность грунта  $W_\phi = 12 \%$ .*

*Категория дороги – II.*

*Толщина дорожной одежды – 0,72 м.*

*Средняя высота насыпи – 1,8 м.*

*Отверстие водопропускной трубы – 1,25 м.*

*Протяженность строящегося участка – 13 км.*

В процессе выполнения работы студент осваивает навыки самостоятельной работы со справочной и технической литературой, а также методического изложения материала.

# 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

## 1.1. Общие сведения и термины

Земляное полотно является одним из основных элементов автомобильной дороги. От его состояния в большой степени зависят эксплуатационные качества дороги. Работоспособность земляного полотна достигается правильным выбором конструкции, устройством надежного водоотвода, своевременным устранением повреждений полотна и водоотводных сооружений, т. е. обеспечивается на стадиях проектирования дороги и ее эксплуатации. Однако прочность и устойчивость земляного полотна в значительной степени зависят от качественного выполнения земляных работ (рационального размещения в теле полотна грунтов, различных по своим физико-механическим свойствам, достижения необходимой плотности и влажности грунтов, устройства надежного основания под насыпями, эффективного использования дорожно-строительной техники, качественного ведения строительно-монтажных работ и т. д.).

**Автомобильная дорога** – комплекс конструктивных элементов, предназначенных для движения с установленными скоростями, нагрузками и габаритами автомобилей и иных наземных транспортных средств, осуществляющих перевозки пассажиров и (или) грузов, а также участки земель, предоставленные для их размещения.

**Бровка** – линия пересечения плоскости откоса и поверхности земляного полотна в местах их сопряжения. По ней определяются рабочие отметки земляного полотна автомобильной дороги.

**Водоотвод дорожный** – комплекс сооружений и отдельных конструктивных устройств, предназначенный для предотвращения переувлажнения земляного полотна и скопления воды на дорожном покрытии.

**Выемка** – земляное сооружение, выполненное путем срезки грунта по заданному профилю; при этом вся поверхность земляного полотна расположена ниже поверхности земли.

**Грунт** – горные породы, залегающие преимущественно в пределах зоны выветривания земли и являющиеся объектом инженерно-строительной и хозяйственной деятельности человека.

**Грунты вечномерзлые** – грунты, которые в условиях природного залегания находятся в мерзлом состоянии непрерывно (без оттаивания) в течение многих (трех и более) лет.

**Грунты пучинистые** – общее название грунтов, относительное морозное пучение которых превышает 1 %.

**Грунты слабые** – связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в природном залегании менее 0,075 МПа (при испытании прибором вращательного среза) или модуль осадки при нагрузке 0,25 МПа более 50 мм/м (модуль деформации ниже 0,5 МПа); требуют укрепления или замены.

**Земляное полотно** – геотехническая конструкция, выполняемая в виде насыпей, выемок или полунасыпей-полувыемок, служащая для обеспечения проектного пространственного расположения проезжей части дороги и в качестве грунтового основания (подстилающего грунта) конструкции дорожной одежды.

**Искусственные сооружения** – сооружения, устраиваемые на дорогах при пересечении рек, оврагов, горных хребтов, дорог и других препятствий, снегозащитные, противообвальные. Основные искусственные сооружения: мосты, путепроводы, тоннели, эстакады, трубы и др.

**Консолидация грунта** – уплотнение водонасыщенного грунтового слоя во времени, происходящее за счет выжимания воды или сближения грунтовых частиц.

**Комплект дорожных машин** – совокупность дорожных машин, включающая в себя ведущую машину для выполнения основных работ и комплектующие (вспомогательные) машины, обеспечивающие совместное полное выполнение того или иного вида работ на строительстве дорог и мостовых сооружений или их эксплуатации. Рекомендуется и рассчитывается по технологическим возможностям и производительности ведущей машины при минимуме затрат и максимуме использования всех машин комплекта.

**Насыпь** – инженерное земляное сооружение из насыпного грунта, в пределах которого вся поверхность земляного полотна расположена выше уровня земли (подстилающего грунта).

**Отметка рабочая (высота насыпи, глубина выемки)** – разность между проектной отметкой (бровкой земляного полотна) и отметкой земли по оси дороги.

**Основание естественное** – массив грунта в условиях естественного залегания, используемый в качестве несущего основания насыпи.

**Почва** – верхний слой земной коры, подвергшийся длительному воздействию температуры, атмосферных факторов, влаги, микроорганизмов и растительности и содержащий в верхних горизонтах гумус.

**Проект организации строительства (ПОС)** разрабатывается проектной организацией на основе технико-экономических обоснований, материалов изысканий, схем снабжения и способов организации работ. ПОС определяет организационно-технологические схемы строительства и содержит сведения для определения сметной стоимости объекта. В ПОС включают календарный план строительства, ведомость объектов работ, график потребности в материалах и оборудовании, места размещения производственных предприятий и т. п.

**Проект производства работ (ППР)** разрабатывается проектной организацией или подрядной организацией и предназначен для повышения организационно-технического уровня строительства и обеспечения своевременного ввода дороги в эксплуатацию. ППР разрабатывается на основе проекта организации строительства и включает в себя: комплексный, сетевой или календарный график, график поступления материалов, оборудования и машин, график их потребности по неделям и месяцам и потребности в рабочих кадрах, технологические карты, указания по охране труда.

**Строительство автомобильной дороги** – комплекс технологических, инфраструктурных и управленческих процессов по сооружению автомобильной дороги.

**Технология** – совокупность операций и режимов работы машин и оборудования для обработки, изготовления, изменения свойств исходных материалов, применяемых в процессе производства для получения готовой продукции.

## **1.2. Климатическая характеристика района строительства**

Процесс дорожного строительного производства в значительной степени зависит от климата района строительства, так как подавляющее большинство технологических операций выполняется на открытом воздухе. В связи с этим на начальном этапе проектирования вопросов производства работ, наряду с административным значением района, описанием рельефа, гидрологии и гидрографии, наличием местных дорожно-строительных материалов, наличием грунтов и растительности, необходимо дать детальное описание **климатической характеристики** района строительства, которая включает в себя:

- среднемесячную температуру воздуха;
- глубину промерзания грунта;
- величину осадков;

- высоту снежного покрова;
- частоту повторяемости ветра и его скорости.

**Температура воздуха** – мера его теплового состояния, пропорциональная энергии беспорядочных тепловых движений молекул воздуха, °С. Температура воздуха – наиболее изменчивый климатический фактор, влияющий на технологию производства дорожно-строительных работ, свойства используемых материалов, а также на условия труда и отдыха работающих.

При температуре воздуха ниже 0 °С происходит процесс превращения влаги, содержащейся в грунте, в лед (*промерзание грунта*). Величина глубины промерзания грунта используется при выполнении земляных работ (возведение насыпей и разработка выемок, отсыпка насыпей на заболоченных участках, строительство водопропускных труб) при пониженных температурах воздуха, а также для определения сроков весенней и осенней распутиц.

В течение холодного периода происходит нарастание *снежного покрова* на земле, максимальное значение которого используется на стадии проектирования дорог для определения высоты насыпи из условий ее снегонезаносимости, а на стадии строительства – при определении толщины теплоизоляционного слоя из снега на поверхности карьера грунта.

На примере дорожно-климатического графика (рис. 1.1) представлены группы работ, которые классифицируются по температурным условиям производства работ и отличаются сроками их выполнения (табл. 1.1), а также графическое отображение элементов климатической характеристики района строительства.

**Распутица** – период времени, в течение которого из-за сильного переувлажнения грунтовых дорог резко снижается их несущая способность и движение автомобильного транспорта становится затруднительным или практически невозможным.

Осенняя распутица наступает в период, когда средняя суточная температура воздуха снижается до +5 °С, что способствует уменьшению испарения влаги, а повторяемость обложных дождей, насыщающих влагой верхний слой грунта, возрастает.

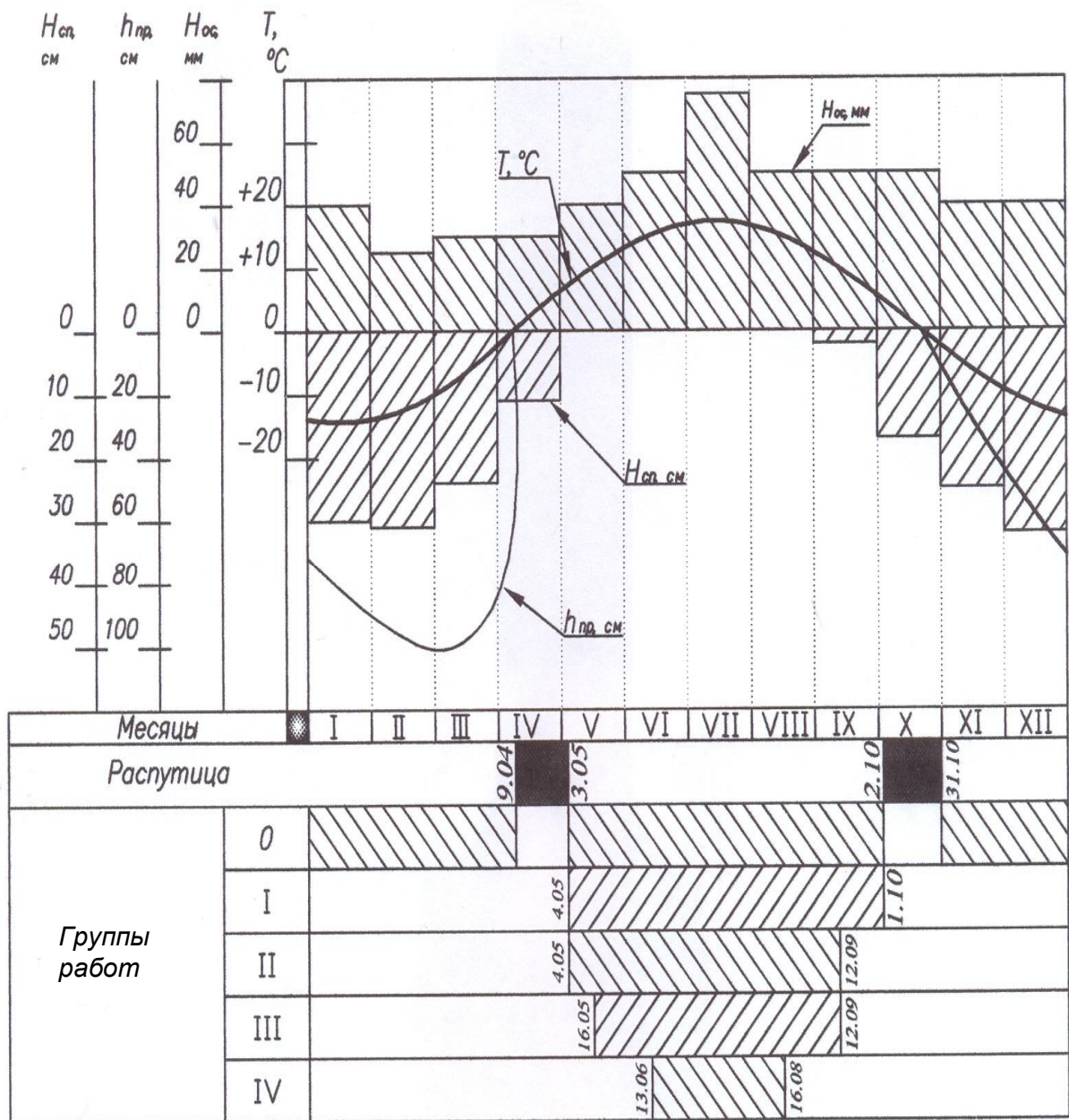


Рис. 1.1. Дорожно-климатический график:  $T$  – среднемесячная температура воздуха, °C;  $H_{ос}$  – среднемесячная величина выпадения осадков, мм;  $H_{сн}$  – среднемесячная высота снежного покрова, см;  $h_{пр}$  – среднемесячная глубина промерзания грунта, см

Прекращается осенняя распутица с наступлением устойчивых отрицательных температур воздуха, когда верхний слой грунта промерзает. Промерзание грунта на глубину порядка 15 см обеспечивает проходимость груженых автомобилей построечного транспорта.

**Классификация дорожных работ по группам  
в зависимости от температурных условий их производства**

Группа работ	Наименование работ	Среднесуточная допустимая температура воздуха, °С
0	Сосредоточенные земляные работы, разработка скальных грунтов, строительство мостов, труб и зданий, покрытий из сборных конструкций	Не нормируется
I	Строительство слоев дорожных одежд из минеральных материалов (щебеночных, гравийных, шлаковых и др.)  Линейные земляные работы	Не ниже 0  После оттаивания грунта
II	Строительство слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими, из асфальто-, цемента-, шлакобетонных смесей, минеральных материалов, обработанных органическими вяжущими в установках	После оттаивания грунта не ниже 5 весной и 10 осенью
III	Строительство слоев дорожных одежд из грунтов и минеральных материалов, обработанных органическими вяжущими смешением на дороге	Не ниже 10
IV	Поверхностные обработки органическими вяжущими без добавок полимерных материалов	Не ниже 15

Весной распутица наступает вслед за сходом снежного покрова, когда начинается оттаивание верхнего слоя грунта, и достигает максимума в период оттаивания грунта до 20 – 30 см. Прекращение распутицы совпадает с моментом просыхания грунта на глубину порядка 20 см. Средние даты начала  $\tau_{nr}^6$  и конца  $\tau_{кр}^6$  весенней распутицы можно рассчитать по формулам:

$$\tau_{nr}^6 = \tau_1 + \frac{5}{\bar{\alpha}}; \quad (1.1)$$

$$\tau_{кр}^6 = \tau_{nr}^6 + \frac{0,7\bar{H}(\tau_{\Omega})}{\bar{\alpha}}, \quad (1.2)$$

где  $\tau_1$  – среднемноголетняя дата перехода температуры воздуха через  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\bar{\alpha}$  – среднемноголетняя скорость оттаивания грунта, см/сут;  $\bar{H}(\tau_Q)$  – среднемноголетняя максимальная глубина промерзания грунта, см.

$$\bar{\alpha} = \frac{5,8\bar{H}(\tau_Q)}{\tau_Q^{(+)}} , \quad (1.3)$$

где  $\tau_Q^{(+)}$  – среднемноголетняя продолжительность теплого периода года, сут.

**Ветер** – движение воздуха относительно земной поверхности. В понятие *ветер* включают числовые значения скорости ветра в м/с и румб (С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ) направления ветра. Иллюстративное изображение этих величин приводится на розе ветров (рис. 1.2).

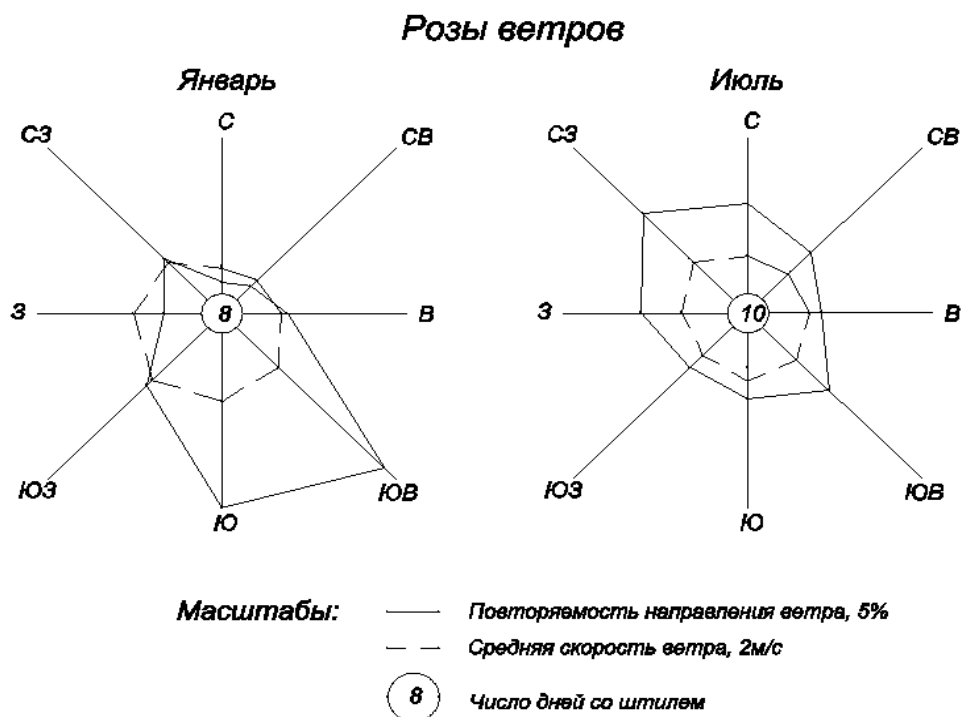


Рис. 1.2. Розы ветров

**Роза ветров** – диаграмма, показывающая повторяемость ветров различных направлений в данной местности и их скоростей по румбам. Определение преобладающего направления ветра используется при проектировании местоположения производственных предприятий, складских территорий и т.д., чтобы избежать загрязнения близ-



лежащих населенных пунктов, зон проживания и отдыха работающих, а также для определения направления в зимнее время наноса снежных масс и времени остывания материалов в период строительства и эксплуатации транспортных сооружений.

Розы ветров отражают характеристики ветра для холодного периода (январь) и теплого периода (июль) с обязательным нанесением условных обозначений и масштаба.

Для определения *сроков производства работ* (сроков строительства объекта)  $T_{стр}$  и *коэффициента сменности*  $K_{см}$  необходимо построить график *гражданского дня*.

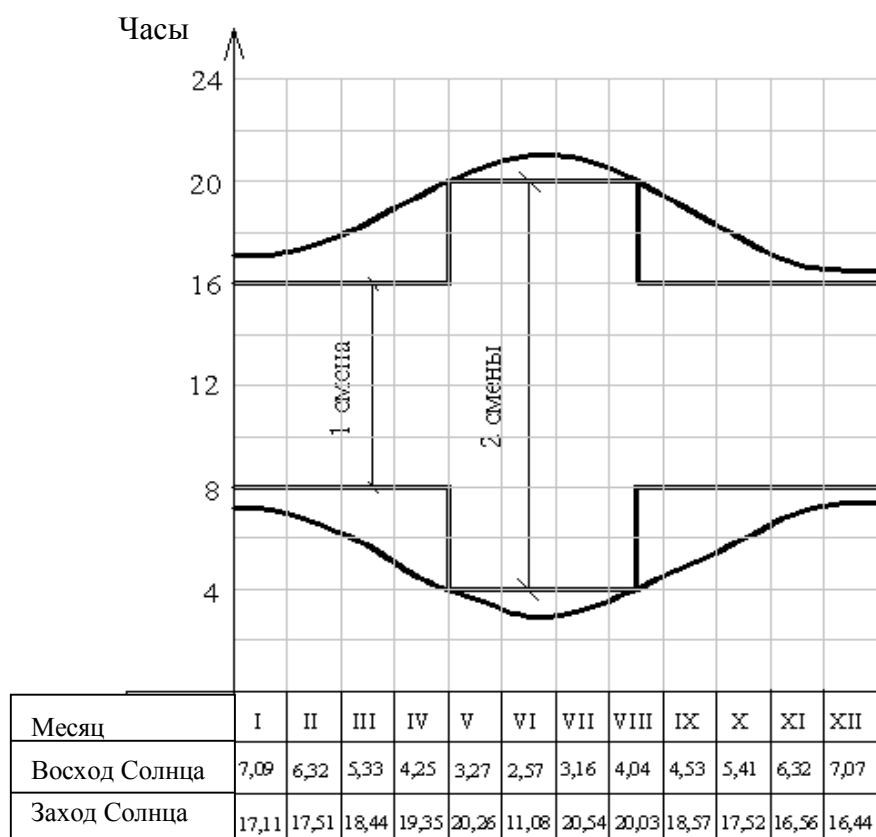


Рис. 1.3. График гражданских сумерек

**Гражданский день (световой день)** – часть суток, в течение которой глубина погружения солнца за горизонтом не превышает  $7^\circ$ . Гражданские сумерки включают в себя гражданский день и период суток между ночью и днем (серое время суток, про которое говорят «светает», «смеркается»). На основе данных о широте района строительства и времени начала и окончания гражданских сумерек (прил. А) строится график (рис. 1.3).

По оси абсцисс наносятся месяцы года, время восхода и захода солнца, а по оси ординат – продолжительность суток в часах. От средней линии, соответствующей 12 ч, откладываются вниз и вверх соответственно время начала и окончания гражданских сумерек (в часах) для каждого календарного месяца. Нанесенные точки соединяются плавной линией. Затем от оси в обе стороны откладываются длительность одной смены (8,0 ч) и длительность двух смен (16,0 ч). Пересечения линий односменного и двухсменного режимов работы с границей темного времени суток являются сроками начала и окончания производства работ в одну или две смены. Для высоких широт (более 60°) данные по времени начала и окончания гражданских сумерек в летнее время отсутствуют, происходит разрыв плавной линии, так как солнце полностью не заходит за горизонт и сумерки продолжаются всю ночь («белые ночи»). Для районов, находящихся на широтах выше 66 параллели, в этот период световой день продолжается 24 ч в сутки (май – июль).

С помощью графика гражданских сумерек рассчитывается коэффициент сменности  $K_{см}$  (в данном случае для первой группы работ):

$$K_{см} = \frac{n_1 \cdot 1 + n_2 \cdot 2}{n_1 + n_2}, \quad (1.4)$$

где  $n_1, n_2$  – количество дней в месяце с возможностью выполнения работ соответственно в одну и две смены.

Значение полученного коэффициента сменности варьируется от 1 до 2. При трехсменном графике работы значение коэффициента сменности увеличивается до 3. В этом случае на предприятиях дорожного производства (карьеры ДСМ, АБЗ и др.) предусматривают наличие искусственного освещения.

### 1.3. Характеристика строящегося участка

Строительство автомобильной дороги можно условно разделить на несколько этапов, включающих различного вида работы, предшествующие непосредственно дорожно-строительным процессам: изыскательские работы, деятельность проектных организаций и т.д. (рис. 1.4).

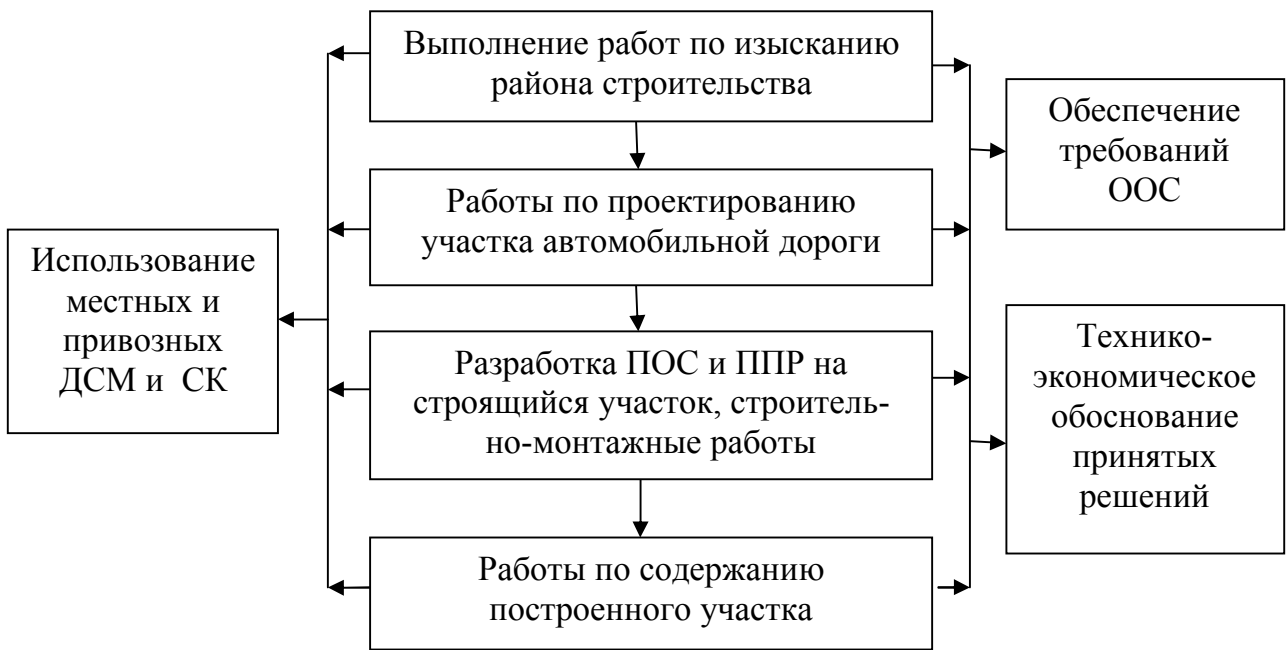


Рис. 1.4. Этапы выполнения работ по строительству автомобильной дороги

ППР разрабатывается на основе проекта автомобильной дороги, в котором приведены план трассы, продольный и поперечные профили автомобильной дороги и т.п.

В рассматриваемом примере курсового проекта (КП) приводятся полное название дороги (в соответствии с заданием) и протяженность строящегося участка на плане дороги. Название трассы выбирается по карте района строительства.

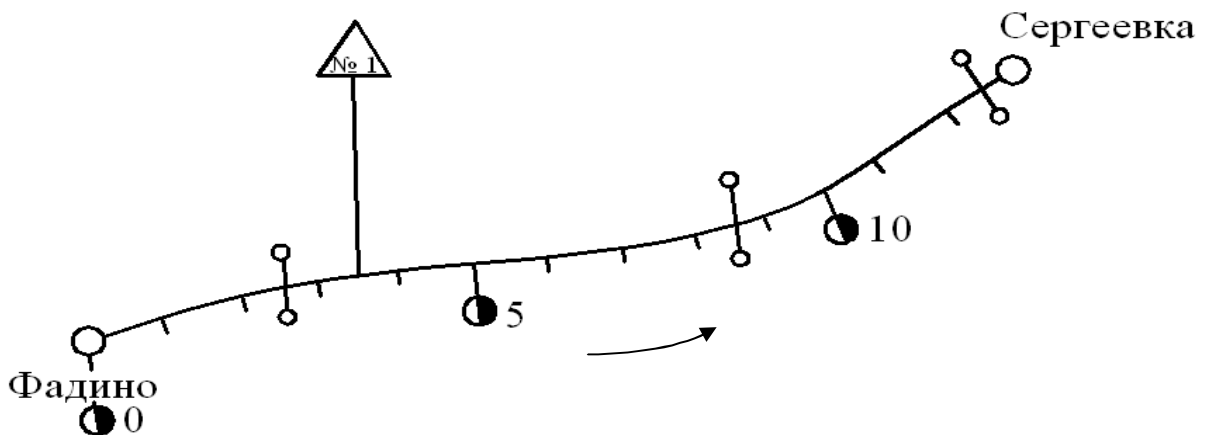


Рис. 1.5. План-схема строящейся дороги:  $\triangle$  № 1 – сосредоточенный резерв грунта;  
 $\circ$  – водопропускная труба

**План дороги** – горизонтальная проекция дороги со всеми сооружениями, расположенными на дороге (с нанесенным на него километражем, населенными пунктами, существующей транспортной сетью, ситуацией вдоль полосы отвода, местоположением водопропускных труб и мостов). На план дороги в соответствии с предложенной схемой (рис. 1.5) наносится местоположение производственной базы предприятия (в данном случае сосредоточенного резерва грунта) и водопропускных труб.

**Водопропускная труба** – инженерное сооружение, укладываемое в теле насыпи автомобильной дороги для пропуска водного потока (ручья; воды, собирающейся в пониженных местах, и т.д.).

**Производственная база предприятия** – комплекс постоянных и временных сооружений и предприятий дорожной организации, предназначенный для оперативного обеспечения строительства материально-техническими ресурсами и изготовления материалов, полуфабрикатов и изделий, используемых в процессе дорожного строительства (складских помещений, карьеров дорожно-строительных материалов, грунтовых карьеров, асфальто- или цементобетонных заводов и т.д.).

#### 1.4. Поперечные профили земляного полотна

На основании данных продольного профиля участка дороги назначаются **типы поперечных профилей** земляного полотна с указанием их **геометрических размеров** (в соответствии с технической категорией дороги) и **коэффициента заложения откосов**, который характеризуется отношением высоты откоса к его горизонтальной проекции (рис. 1.6).

**Поперечный профиль** – изображение сечения дороги плоскостью, перпендикулярной к ее оси.

Для заданной технической категории автомобильной дороги в табличную форму из нормативных документов сводятся ее основные технические параметры: ширина проезжей части и земляного полотна, число полос движения, расчетная скорость движения автомобиля, величина поперечных уклонов проезжей части и земляного полотна, величина продольных уклонов.

**Пример.** Для II технической категории в табл.1.2 занесены основные технические параметры строящегося участка.

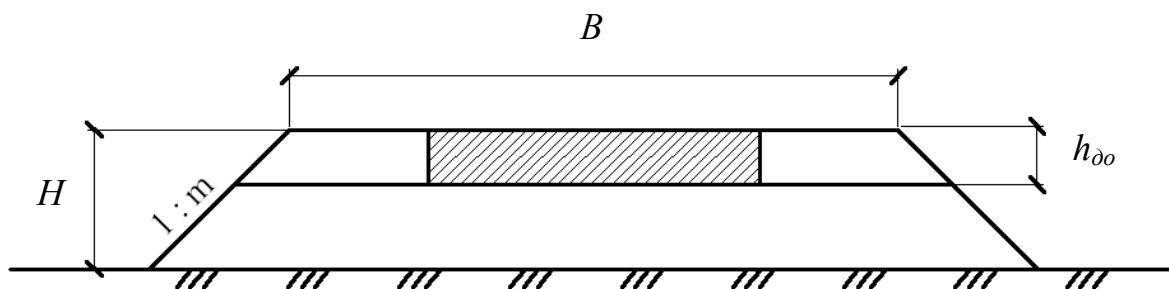


Рис. 1.6. Упрощенная схема поперечного профиля насыпи земляного полотна:  $B$  – ширина земляного полотна поверху, м;  $H$  – средняя высота насыпи с учетом дорожной одежды (рабочая отметка из продольного профиля), м;  $h_{до}$  – толщина дорожной одежды, м;  $1:m$  – коэффициент заложения откосов насыпи

Таблица 1.2

### Технические параметры строящегося участка

Технические показатели	Единица измерения	Значение показателя
Число полос движения	шт.	2
Ширина полосы движения	м	3,75
Ширина обочины	м	3,75
Ширина земляного полотна	м	15
Ширина проезжей части	м	7,5
....	...	...

### Контрольные вопросы

1. Что включают в себя понятия «автомобильная дорога», «земляное полотно», «насыпь», «выемка»?
2. Какими показателями описывается климатическая характеристика района строительства?
3. Что такое грунты?
4. Для чего строится дорожно-климатический график?
5. Какие этапы выполнения работ включает в себя строительство автомобильной дороги?
6. Каково назначение «розы ветров»?
7. Как определяется коэффициент сменности и где он используется?
8. Для чего и где устраиваются водопропускные трубы?
9. Как назначается категория дороги?
10. От чего зависят технические параметры строящегося участка?

11. Какие элементы поперечного профиля земляного полотна вы знаете?
12. Какие типы поперечных профилей земляного полотна вы знаете?
13. Что такое ПОС?
14. Что включает в себя ППР?
15. Что такое «строительство автомобильной дороги», «технология», «земляное полотно», «комплект дорожных машин»?

## **2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ВОЗВЕДЕНИЮ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

### **2.1. Виды и объемы работ**

Одним из важнейших вопросов строительства является определение видов и объемов работ. Все строительные-монтажные работы по возведению земляного полотна условно поделены на три вида: *подготовительные, основные, отделочные.*

*Подготовительные работы* – создание геодезической разбивочной основы (ГРО); перенос и переустройство воздушных и кабельных линий связи, электропередачи, трубопроводов, коллекторов и др.; восстановление и закрепление трассы дороги; расчистка дорожной полосы; расчистка территорий, отведенных под карьеры и резервы; подготовка и усиление сети автомобильных дорог, намечаемых к использованию в период строительства; строительство производственных предприятий, временных жилых поселков.

Выполнение геодезических разбивочных работ включает в себя: восстановление и вынос за границу полосы отвода всех знаков геодезической разбивочной основы; разбивку по трассе всех пикетов и плюсовых точек с выноской за границу полосы отвода; установление дополнительных реперов у насыпей высотой свыше 3 м, выемок, искусственных сооружений; установление промежуточных реперов на пересеченной местности; разбивку круговых и переходных кривых с выноской и закреплением промежуточных точек.

*Основные работы* – основной цикл строительных работ, включающий подготовку грунтовых оснований под насыпи, разработку и перемещение грунта, его разравнивание, при необходимости увлажнение или просушивание грунта, а также его послойное уплотнение до требуемой плотности.

**Отделочные работы** выполняются после завершения основных работ и включают в себя **планировочные работы** и **укрепление откосов насыпей и выемок**, восстановление растительного слоя на территориях, отведенных во временное пользование.

Для каждого вида выполняемых работ следует определить объемы работ.

Принципиальным вопросом при этом является выбор способа возведения земляного полотна и местоположения грунтового резерва.

В практике дорожного строительства в основном используют следующие приемы возведения земляного полотна: **корытный способ** и **возведение насыпи с присыпными обочинами**. В первом случае при возведении насыпи в верхней ее части нарезается корыто с последующим устройством в нём слоев дорожной одежды – этот способ является достаточно трудоемким и используется в основном для строительства городских дорог. В дождливую погоду в корыте собирается влага, что приводит к переувлажнению земляного полотна. Чаще используется второй, наиболее распространенный и простой способ, при котором насыпь отсыпается на высоту  $h_n$  до низа дорожной одежды. Обочины в этом случае отсыпаются позднее, параллельно с укладкой слоев дорожной одежды.

Грунт для отсыпки насыпи земляного полотна разрабатывают и перемещают следующими приемами:

– **из боковых резервов** (вдоль строящегося участка). Этот способ в прошлые годы широко использовался при выполнении линейных работ. Из-за короткого пути транспортировки грунта он является наиболее экономичным, однако имеет ряд недостатков: увеличивается ширина полосы земли, отводимой на время строительства; на протяжении строящегося участка могут меняться характеристики грунта, что отрицательно сказывается на качестве отсыпаемой насыпи; увеличивается объем работ по восстановлению отводимых земель; осложняется отвод воды от земляного полотна и т.д. В настоящее время этот способ не рекомендуется к производству, исключение составляют малозаселенные районы с возведением насыпей высотой до 1 м и пригодными грунтами вдоль строящегося участка;

– **из сосредоточенного резерва**, находящегося на небольшом расстоянии от места строительства. Этот способ наиболее распространен и широко применяется в дорожном строительстве: при отсыпке насыпи; при работе в городской зоне застройки; при возведении насыпи на заболоченной местности; при строительстве на терри-

тории ценных земель; в случае возведения насыпи с проходящими рядом коммуникациями. Он эффективен при отсыпке мостовых подходов, а также высоких насыпей.

При этом важным остается вопрос оценки пригодности грунтов для отсыпки в насыпь.

Грунты, используемые для возведения насыпей, разделяют на четыре основные группы:

- *скальные*, добываемые путем разрушения естественных сплошных или трещиноватых скальных массивов;
- *крупнообломочные*, залегающие в естественных условиях в виде аллювиальных и делювиальных отложений;
- *песчаные*;
- *глинистые*.

Каждая из перечисленных групп имеет классификацию по разновидностям и своим особым характеристикам.

Для насыпей **применяют** грунты, состояние которых под действием природных факторов не изменяется или изменяется незначительно, что не влияет на их прочность и устойчивость в теле земляного полотна. К таким грунтам относят скальные неразмягчаемые породы, крупнообломочные, песчаные (кроме мелких и пылеватых), супеси легкие и крупные. Эти грунты применяют для возведения земляного полотна без ограничений.

Грунты глинистые, мелкие и пылеватые пески, размягчаемые скальные грунты, некоторые грунты особых разновидностей также пригодны для возведения земляного полотна, но при этом необходимо учитывать некоторые ограничения.

Возможность и целесообразность применения этих грунтов устанавливаются в зависимости от местных условий и технико-экономических соображений. Например, глины мергелистые, сланцевые и жирные, грунты меловые тальковые и трепелы пригодны для отсыпки насыпей в благоприятных условиях, т.е. в сухих местах. В то же время на участках с неблагоприятными гидрологическими условиями, в поймах рек, в низинах, где уровень грунтовых вод высокий или возможно длительное подтопление поверхностными водами, эти грунты могут быть применены с осторожностью.

Для нижней части насыпей, длительно или постоянно подтопляемых водой, можно применять скальные или крупнообломочные грунты, песок крупный или средней крупности, супесь легкую крупную с массовой долей глинистых частиц не более 6 %.



**Не применяют** для насыпей грунты глинистые, избыточно засоленные; глинистые, влажность которых выше допустимой; торф, ил, мелкий песок и глинистые грунты с примесью ила и органических веществ, верхний почвенный слой, содержащий в большом количестве корни растений; тальковые грунты и трепелы для насыпей и на участках, где возможен длительный застой воды; содержащие гипс в количестве, превышающем норму.

Насыпи, как правило, возводят из однородных грунтов, но при необходимости их можно отсыпать и из разных грунтов, однако располагать эти грунты надо отдельными горизонтальными слоями; предпочтительно в верхней части насыпи (1,0...1,5 м) применять более прочные грунты, так как эта часть насыпи обычно подвергается большому воздействию природных факторов и транспортных средств.

Недопустима беспорядочная отсыпка грунтов в насыпи, потому что в такой неоднородной массе происходит неравномерное перераспределение влаги и изменение физических свойств под влиянием климатических факторов. Вследствие этого нарушается ровность при морозном пучении грунта, а при оттаивании образуется неравнопрочное основание дорожной одежды, что также ведет к нарушению ровности или разрушению дорожной одежды.

При отсыпке нижней части насыпи из дренирующих грунтов толщина этого слоя должна быть больше высоты капиллярного поднятия в этом грунте, для того чтобы предотвратить приток воды в верхнюю часть насыпи.

В реальных условиях определение объемов грунта, необходимого для выполнения земляных работ, выполняют на каждые 100 м («по пикетам») или на более короткое расстояние, если меняется тип поперечника («рубленный пикет»). При этом на каждом участке определяют среднюю высоту насыпи или глубину выемки (рис. 2.1).

Для выполнения расчетов объемов основных работ принимаем поперечный профиль земляного полотна с высотой насыпи  $H$ , полученной как среднее значение высот насыпей на всем протяжении строящегося участка.

Высота насыпи без учета дорожной одежды  $h_n$  определяется выражением

$$h_n = H - h_{до} + h_{рс}, \quad (2.1)$$

где  $H$  – средняя высота насыпи с учетом толщины слоев дорожной одежды  $h_{до}$ , м;  $h_{рс}$  – толщина растительного слоя.

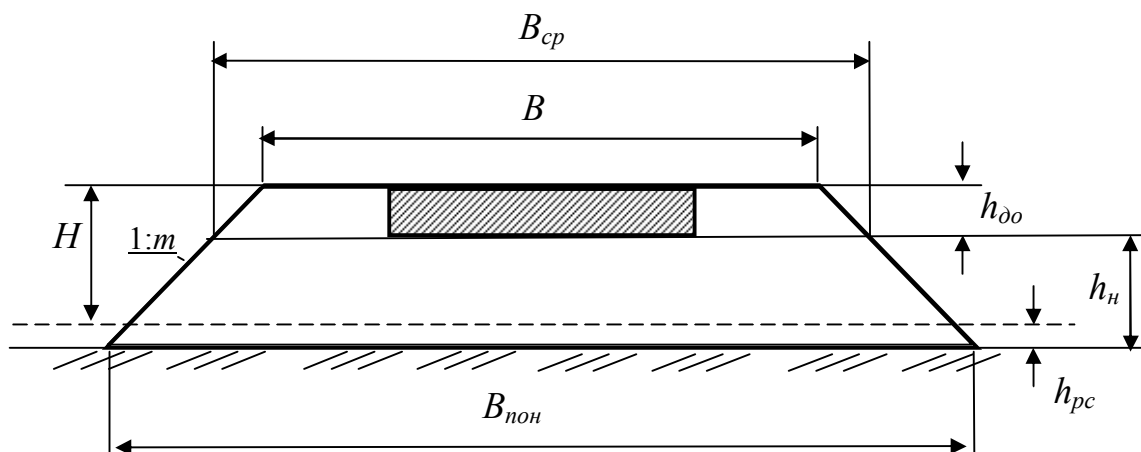


Рис. 2.1. Схема к определению геометрических размеров насыпи при возведении из грунтов сосредоточенного резерва:  $B$  – ширина земляного полотна поверху, м;  $B_{cp}$  – «срезанная» ширина земляного полотна по низу дорожной одежды, м;  $B_{пон}$  – ширина основания насыпи, м;  $H$  – средняя высота насыпи с учетом дорожной одежды (рабочая отметка из продольного профиля), м;  $h_{до}$  – толщина дорожной одежды, м;  $h_n$  – высота насыпи без учета дорожной одежды;  $h_{рс}$  – толщина растительного слоя;  $1:m$  – коэффициент заложения откосов насыпи

**Пример.** Для рассматриваемого примера высота насыпи определяется следующим образом:

$H$  – средняя высота насыпи с учетом толщины слоев дорожной одежды, принимается по заданию 1,8 м;

$h_{до}$  – суммарная толщина слоев дорожной одежды, принимается по заданию 0,72 м;

$h_{рс}$  – толщина растительного слоя (принимается условно равной 0,12 м).

$$h_n = 1,8 - 0,72 + 0,12 = 1,2 \text{ м.}$$

Для упрощения расчетов в работе объемы земляных работ рассчитываются по километрам.

Объем грунта  $V$ , необходимого для отсыпки насыпи, определяется следующим выражением:

$$V = S \cdot L \cdot K_{упл}^{отн}, \quad (2.2)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения насыпи,  $\text{м}^2$ ;  $L$  – протяженность строящегося участка, м;  $K_{упл}^{отн}$  – коэффициент относительного уплотнения, принимается по табл. 2.1.

**Коэффициент относительного уплотнения**  $K_{упл}^{отн}$  – отношение требуемой плотности грунта в насыпи  $\rho_n$  к его плотности в резерве  $\rho_p$ .

$$K_{упл}^{отн} = \frac{\rho_n}{\rho_p}. \quad (2.3)$$

Таблица 2.1

**Значения коэффициента относительного уплотнения**

Требуемый коэффициент уплотнения грунта	Значения коэффициента относительного уплотнения для грунтов						
	пески, супеси, суглинки пылеватые	суглинки, глины	лессы и лессовидные грунты	скальные разрабатываемые грунты при объемной массе, г/см <sup>3</sup>			шлаки, отвалы перерабатывающей промышленности
				1,9–2,2	2,2–2,4	2,4–2,7	
1,0	1,10	1,05	1,30	0,95	0,89	0,84	1,26–1,47
0,95	1,05	1,00	1,15	0,90	0,85	0,80	1,20–1,40
0,90	1,00	0,95	1,10	0,85	0,80	0,76	1,13–1,33

Этот коэффициент показывает, насколько плотность уплотненного грунта в насыпи больше естественной плотности грунта резерва, используется для определения объемов оплачиваемых земляных работ с запасом на уплотнение.

Для нахождения величины коэффициента относительного уплотнения необходимо знать величину **требуемого коэффициента уплотнения**  $K_{упл}^{тр}$  – отношение плотности сухого (скелета) грунта в насыпи к максимальной плотности сухого грунта при стандартном уплотнении, который служит для оценки степени уплотнения грунта и принимается по данным табл. 2.2.

$$K_{упл}^{тр} = \frac{\rho_{d\text{тр}}}{\rho_{d\text{max}}}. \quad (2.4)$$

Следует учесть, что при возведении высокой насыпи для нижней и верхней ее частей значения требуемого коэффициента уплотнения могут отличаться друг от друга, следовательно, и значения относительного коэффициента уплотнения будут иметь разные величины.

## Значения требуемого коэффициента уплотнения

Элементы земляного полотна	Глубина расположения слоя от поверхности покрытия, м	Наименьший коэффициент уплотнения грунта при типе дорожных одежд					
		капитальном			облегченном и переходном		
		в дорожно-климатических зонах					
		I	II, III	IV, V	I	II, III	IV, V
Рабочий слой	До 1,5	0,98–0,96	1,0–0,98	0,98–0,95	0,95–0,93	0,98–0,95	0,95
Неподтопляемая часть насыпи	Св. 1,5 до 6,0	0,95–0,93	0,95	0,95	0,93	0,95	0,90
	Св. 6,0	0,95	0,98	0,95	0,93	0,95	0,90
Подтопляемая часть насыпи	Св. 1,5 до 6,0	0,96–0,95	0,98–0,95	0,95	0,95–0,93	0,95	0,95
	Св. 6,0	0,96	0,98	0,98	0,95	0,95	0,95
В рабочем слое выемки ниже зоны сезонного промерзания	До 1,2	-	0,95	-	-	0,95–0,92	-
	До 0,8	-	-	0,95–0,92	-	-	0,90

*Примечания:*

1. Большие значения коэффициента уплотнения грунта следует принимать при цементобетонных покрытиях и цементогрунтовых основаниях, а также при дорожных одеждах облегченного типа, меньшие значения – во всех остальных случаях.

2. В районах поливных земель при возможности увлажнения земляного полотна требования к плотности грунта для всех типов дорожных одежд следует принимать такими же, как указано в графах для II и III дорожно-климатических зон.

3. Для земляного полотна, сооружаемого в районах распространения островной высокотемпературной вечной мерзлоты, коэффициенты уплотнения следует принимать такими же, как для II дорожно-климатической зоны.

Для определения объемов грунта важно знать геометрические размеры и площадь поперечного сечения насыпи, имеющего вид трапеции, которые рассчитываются следующим образом:

$$S = \frac{B_{cp} + B_{нон}}{2} \cdot h_n; \quad (2.5)$$

$$B_{cp} = B + 2 \cdot h_{до} \cdot m; \quad (2.6)$$

$$B_{нон} = B_{cp} + 2 \cdot h_n \cdot m. \quad (2.7)$$

**Пример.**

$$B_{cp} = 15 + 2 \cdot 0,72 \cdot 4 = 20,76 \text{ м};$$

$$B_{нон} = 20,76 + 2 \cdot 1,2 \cdot 4 = 30,36 \text{ м};$$

$$S = \frac{20,76 + 30,36}{2} \cdot 1,2 = 30,672 \text{ м}^2;$$

$$V = 30,67 \cdot 13\,000 \cdot 1,05 = 418672,8 \text{ м}^3.$$

Следует учесть, что площадь поперечного сечения насыпи в этом случае определяется без учета величины поперечного уклона насыпи, что позволяет рассчитанный объем грунта считать примерным.

В случае возведения насыпи из боковых резервов необходимо дополнительно определить их геометрические размеры  $b_1$  и  $b_2$ ,  $h_0$ , а также ширину временной полосы отвода  $L_{но}$  (рис. 2.2).

Ширина резерва поверху  $b_1$  и ширина резерва понизу  $b_2$  определяются по выражениям (2.8), (2.9) методом подбора при различных значениях его средней глубины  $h_0$ .

$$b_1 = \frac{S}{2 \cdot h_0} + \frac{(m+n) \cdot h_0}{2}; \quad (2.8)$$

$$b_2 = \frac{S}{2 \cdot h_0} - \frac{(m+n) \cdot h_0}{2}, \quad (2.9)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения насыпи,  $\text{м}^2$ .

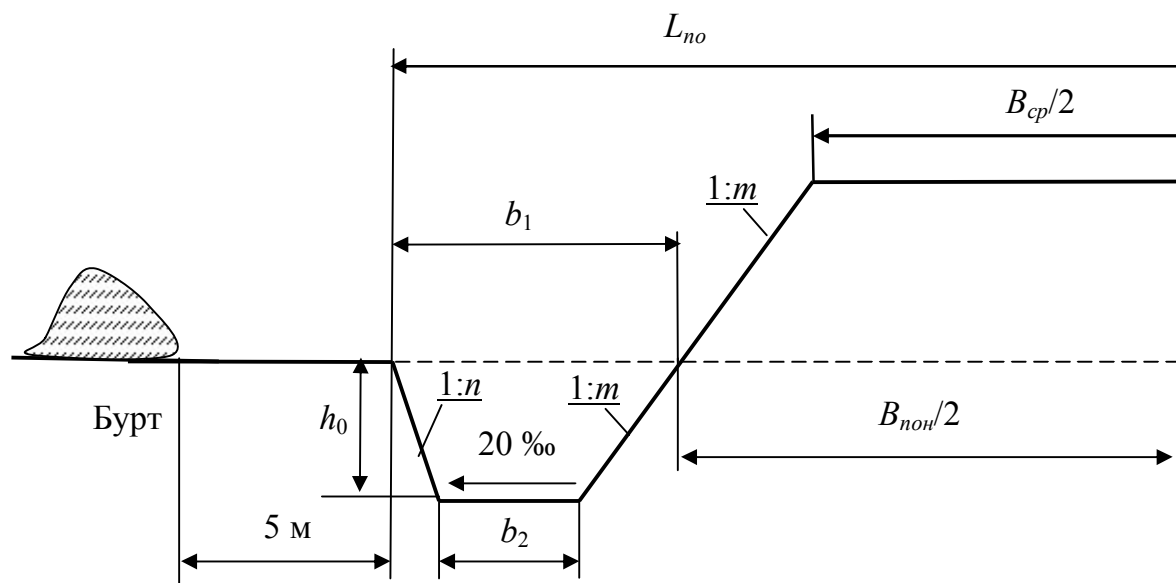


Рис. 2.2. Схема к определению геометрических размеров боковых резервов:  $b_1$  – ширина резерва поверху, м;  $b_2$  – ширина резерва понизу, м;  $h_0$  – средняя глубина резерва, м;  $m$  – коэффициент заложения откосов насыпи;  $n$  – коэффициент заложения откосов резерва;  $L_{no}$  – ширина временной полосы отвода

Средняя глубина резерва  $h_0$  зависит от высоты насыпи  $h_n$ , ее ширины понизу  $B_{non}$  и глубины залегания грунтовых вод. При этом следует учитывать ограничения по геометрическим размерам резерва – ширина дна резерва  $b_2$  должна обеспечивать проход бульдозера или автогрейдера, выполняющего планировочные работы, а ширина его поверху  $b_1$  не должна превышать 10 – 12 м для предотвращения резкого увеличения ширины полосы отвода  $L_{no}$ . Участок земли, предназначенный для размещения автомобильной дороги со всем комплексом обеспечивающих движение сооружений, именуется **полосой отвода**.

В связи с этим первоначальный расчет, как правило, начинаем с величины  $h_0 = 1,0$  м. Затем проверяется выполнимость выражения  $b_1 \leq 10-12$  м. Если это выражение не выполняется, то увеличиваем среднюю глубину заложения резерва на 0,1 м. Глубина заложения резерва не должна достигать глубины залегания грунтовых вод, в данном случае  $h_0 \leq 1,5$  м.

$$L_{no} = B_{non} + 2 \cdot b_1. \quad (2.10)$$

**Пример.** Определим объемы основных работ на каждый километр и на всю протяженность строящегося участка по формуле (2.2). Полученные результаты заносятся в табл. 2.3 (в данные объемы не входят объемы земляных работ по отсыпке обочин, которые учитываются при составлении калькуляции трудовых затрат при строительстве дорожной одежды).

Таблица 2.3

**Объем грунта для возведения насыпи**

Но- мер км	Протя- жен- ность, м	Средняя высота насыпи $h_n$ , м	Площадь попереч- ного сече- ния, $m^2$	Профиль- ный объем земляных работ, $m^3$	Значение $K_{упл}^{отн}$	Объем оп- лачиваемых земляных работ, $m^3$
0						
1	1000	1,2	30,672	30 672	1,05	32205,6
2	1000	1,2	30,672	30 672	1,05	32205,6
3	1000	1,2	30,672	30 672	1,05	32205,6
...						
17	1000	1,2	30,672	30 672	1,05	32205,6
					Итого	418672,8

На практике при возведении высоких насыпей в отдельных случаях отсыпка нижней части насыпи выполняется из боковых резервов, а верхняя часть – из сосредоточенного. В этом случае оплачиваемые объемы земляных работ подсчитываются отдельно, а в таблицу заносятся отдельными строками.

Следует определить объемы для всех остальных видов работ.

1. После выполнения разбивочных работ необходимо снять растительный слой под подошвой будущей насыпи. В районах вечной мерзлоты растительный покров в основании насыпи и в пределах охранной зоны (ориентировочно до 50 м по обе стороны от оси трассы) должен быть сохранен. Растительный слой сдвигается за границы будущей насыпи в бурты (валы) и в дальнейшем используется для укрепления откосов. Объем работ по срезке растительного слоя при разработке грунта в сосредоточенном резерве измеряется в  $m^2$ .

$$S_{pc} = B_{non} \cdot L, \quad (2.11)$$

где  $S_{pc}$  – площадь участка расчистки,  $m^2$ ;  $B_{нон}$  – ширина участка расчистки, в данном случае ширина насыпи понизу или ширина основания насыпи, м.

В случае разработки грунта из боковых резервов объем работ по срезке растительного слоя определяется по формуле

$$S_{pc} = (B_{нон} + 2 \cdot b_1) \cdot L. \quad (2.12)$$

**Основание насыпи** – массив грунта в условиях естественного залегания, располагающийся ниже насыпного слоя, а при низких насыпях – и ниже границы рабочего слоя.

При возведении насыпи из привозного грунта ширина основания насыпи  $B_{нон}$  одновременно является шириной **полосы отвода**  $L_{но}$  – полосы земли, занятой строящимся сооружением:

$$L_{но} = B_{нон}. \quad (2.13)$$

Если позволяют условия землеотведения, с каждой стороны добавляют 2 – 4 м для обеспечения передвижения построечного транспорта.

2. Грунт основания насыпи, как правило, недостаточно уплотнен и имеет естественную плотность, значения которой не удовлетворяют нормативным требованиям табл. 2.1. В связи с этим необходимо провести доуплотнение грунта основания насыпи до требуемых значений. Объем работ по доуплотнению основания (подошвы) насыпи ( $m^2$ ) определяется выражением

$$V_{Д} = B_{нон} \cdot L. \quad (2.14)$$

3. Основной или **ведущей операцией** при возведении земляного полотна, как правило, является операция по разработке и перемещению грунта, а машина, выполняющая эту операцию, – **ведущей**. Ведущей машиной считают машину, выполняющую наиболее трудоемкие и сложные операции. Объем грунта, потребный для отсыпки насыпи, является основой для определения объемов работ для всех технологических процессов группы основных работ. Объем работ по разработке и перемещению грунта измеряется в  $m^3$  и определяется по выражению (2.2) или табл. 2.3.



4. Привезенный грунт необходимо разровнять по ширине слоя.

При выполнении этой операции разравнивается практически только верхняя треть перемещенного грунта, что учтено при определении норм времени. Объем работ на разравнивание равен объему грунта для отсыпки насыпи:

$$V_p = V. \quad (2.15)$$

По выполнении процесса разравнивания грунта происходит его предварительное обжатие.

5. Особое внимание уделяется процессу уплотнения грунта. Эффективное уплотнение грунта возможно при значениях фактической (естественной) влажности грунта, близкой к значениям оптимальной.

**Оптимальная влажность** – влажность грунта, при которой достигается максимальная плотность сухого грунта (скелета грунта) при стандартном уплотнении (рис. 2.3) и при определенной затрате работы уплотняющих механизмов (катков, трамбовок) на уплотнение. Оптимальная влажность и плотность могут изменяться в определенных пределах, так как они зависят и от свойств уплотняемого грунта, и от величины нагрузки, уплотняющей грунт. Если постепенно повышать влажность грунта, то при одной и той же величине работы, затрачиваемой на уплотнение грунта, плотность его вначале становится тем большей, чем больше его влажность.

При определенной для каждого грунта влажности  $W_{opt}$  уплотнение грунта достигает максимума  $\rho_{ск}^{max}$ . Дальнейшее увеличение влажности при той же работе приводит к снижению плотности грунта. Максимум уплотнения грунтов достигается примерно при влажности грунта, несколько ниже влажности границы раскатывания.

Для несвязных грунтов график стандартного уплотнения может не иметь заметно выраженного максимума. В этом случае значение оптимальной влажности принимают на 1,0 – 1,5 % менее влажности, при которой происходит отжатие воды. Значение максимальной плотности принимают по соответствующей ей ординате. При этом 1,0 % принимают для песков гравелистых, крупных и средней крупности; 1,5 % – для мелких и пылеватых.

Значение оптимальной влажности определяется в лабораторных условиях или ориентировочно рассчитывается по значению влажности на границе текучести  $W_L$ :

$$W_{opt} = \alpha \cdot W_L, \quad (2.16)$$

где  $\alpha$  – переходный коэффициент, зависящий от вида грунта (табл. 2.4).

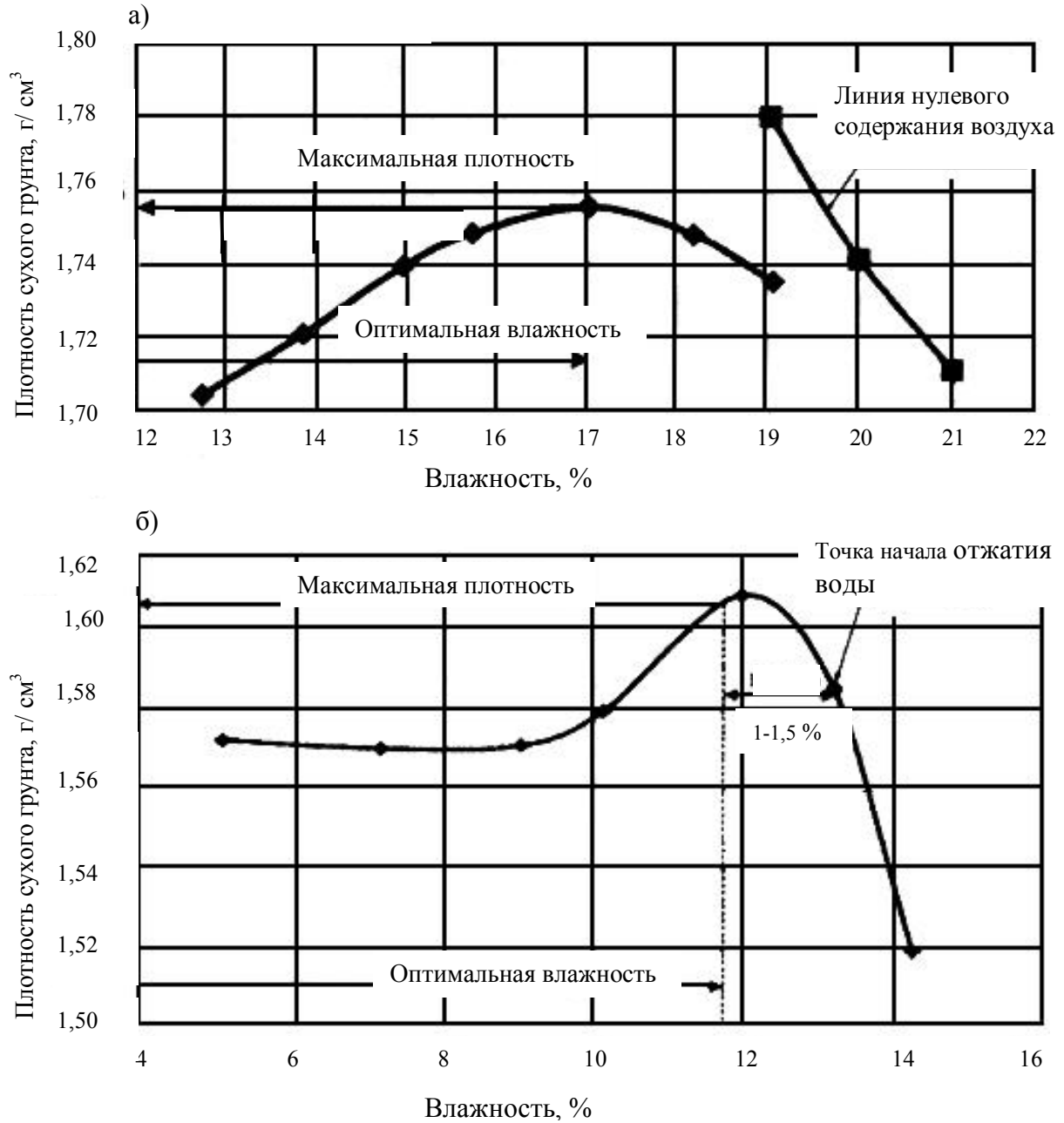


Рис. 2.3. Зависимость плотности грунтов от его влажности:  
*а* – для связных грунтов; *б* – для несвязных грунтов

Таблица 2.4

**Значения переходного коэффициента  $\alpha$   
для определения величины оптимальной влажности**

Вид грунта	$\alpha$
Песок	0,75–0,70
Супесь	0,75–0,70
Суглинок	0,60–0,55
Глина	0,50–0,45

Ориентировочные значения оптимальной влажности для различных грунтов приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

**Значения величины оптимальной влажности  $W_{opt}$   
для различных видов грунтов**

Виды и разновидности грунтов	$W_{opt}, \%$
Пески мелкие и пылеватые	8–13
Супеси:	
- легкие и тяжелые	9–15
- тяжелые и пылеватые	15–22
- пылеватые	12–18
Суглинки:	
- легкие	14–20
- тяжелые и тяжелые пылеватые	15–22
- легкие пылеватые	15–22
Глины:	
- пылеватые и песчанистые	16–26
- жирные	20–30

Степень увлажнения грунта характеризуется величиной коэффициента увлажнения  $K_W$ , с помощью которого фактическая влажность грунта  $W_\phi$  сравнивается с оптимальной влажностью  $W_{opt}$ .

$$K_W = \frac{W_\phi}{W_{opt}}. \quad (2.17)$$

Требуемая плотность грунта может быть достигнута при фактической влажности грунта  $W_\phi$ , отличающейся от оптимальной  $W_{opt}$  в

допустимых пределах. Эти грунты принято называть *грунтами нормальной влажности* (табл. 2.6).

На практике зачастую значение фактической влажности грунта значительно отличается от значений его оптимальной влажности (рис. 2.4).

Таблица 2.6

Допустимые значения отклонений  $W_{\phi} / W_{opt}$

Грунты	$W_{\phi} / W_{opt}$ при коэффициенте уплотнения $K_{упл}$	
	0,98	0,95
Пески пылеватые, супеси легкие крупные	0,80–1,35	0,75–1,60
Супеси легкие и пылеватые	0,80–1,25	0,75–1,35
Супеси тяжелые пылеватые, суглинки легкие и легкие пылеватые	0,85–1,15	0,80–1,30
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые	0,90–1,05	0,85–1,20

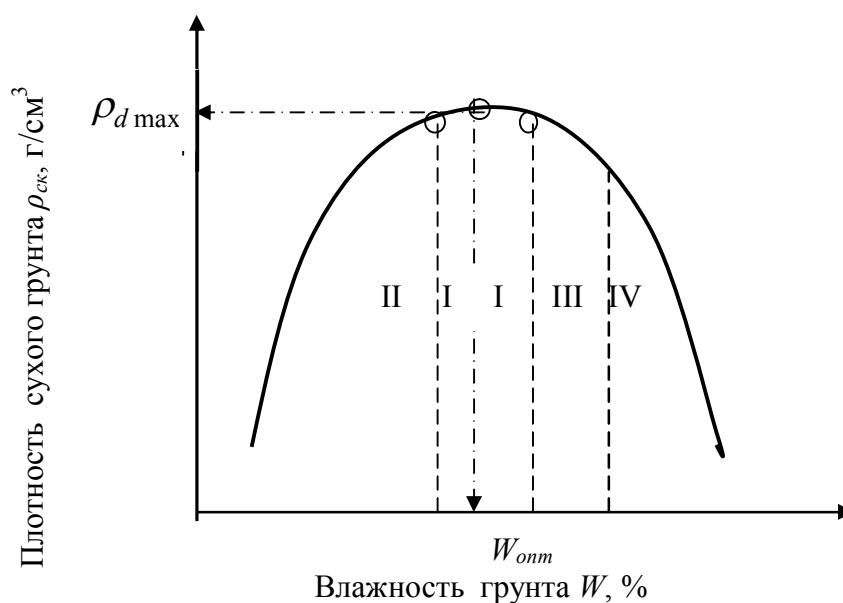


Рис. 2.4. Отклонение влажности грунта от значений оптимальной влажности: I — зона грунтов с влажностью, близкой к оптимальной (грунты нормальной влажности); II — грунты недоувлажненные; III — грунты с повышенной влажностью; IV — переувлажненные грунты

Следует отметить, что при уплотнении грунтов **повышенной влажности** можно достичь значения фактического коэффициента уплотнения не менее 0,9. В противном случае эти грунты являются **переувлажненными** грунтами.

Если значение  $W_{\phi} / W_{opt}$  превышает допустимые пределы, следует предусмотреть ряд дополнительных мероприятий по осушению грунта: естественное просушивание грунта, внесение химических добавок, внесение части сухого грунта и т.д.

Если значение  $W_{\phi} / W_{opt}$  меньше нижнего предела, грунт необходимо доувлажнить. В этом случае определяется потребное количество воды для доувлажнения грунта  $\Delta W$ , т/м<sup>3</sup>:

$$\Delta W = \rho_{d\ mp} \cdot \frac{W_{opt} - W_{\phi}}{100}, \quad (2.18)$$

где  $W_{opt}$  – оптимальная влажность грунта, %;  $W_{\phi}$  – фактическая влажность грунта, %;  $\rho_{d\ mp}$  – требуемая плотность сухого грунта, г/см<sup>3</sup>, рассчитывается по выражению

$$\rho_{d\ mp} = \rho_{d\ max} \cdot K_{упл}^{mp}, \quad (2.19)$$

где  $\rho_{d\ max}$  – максимальная плотность сухого грунта, г/см<sup>3</sup>.

**Плотность грунта**  $\rho$  – масса единичного объема материала, рассчитывается как отношение массы образца (вещества) к занимаемому им объему (т/м<sup>3</sup>).

**Плотность сухого (скелета) грунта**  $\rho_{ск}$  – отношение массы сухого грунта, исключая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему, включая имеющиеся в этом грунте поры воздуха.

**Пример.** Определение оптимальной влажности в рассматриваемом примере.

$$W_{opt} = \alpha \cdot W_L, \%,$$

где  $\alpha$  – переходный коэффициент, зависящий от вида грунта;

$$W_{opt} = 0,6 \cdot 30 = 18 \, \%.$$

$$K_w = \frac{W_{\phi}}{W_{opt}} = \frac{12}{18} = 0,67.$$

**Вывод.** На основании данных табл. 2.6 можно сделать вывод, что грунт имеет недостаточную влажность. Для суглинка лёгкого границы нормальной влажности составляют 0,85 – 1,15. Требуется увлажнение.

*Определение требуемой плотности грунта в насыпи:*

$$\rho_{dmp} = \rho_{d \max} \cdot K_{упл}^{mp} = 1,62 \cdot 0,98 = 1,58 \text{ т/м}^3,$$

где  $\rho_{d \max}$  – максимальная плотность сухого грунта;

$K_{упл}^{mp}$  – требуемый коэффициент уплотнения грунта.

*Определение необходимого количества воды для увлажнения грунта:*

$$\Delta W = \rho_{d \max} \cdot \frac{W_{онт} \cdot W_{ф}}{100} = 1,58 \cdot \frac{18-12}{100} = 0,095 \text{ т/м}^3.$$

6. Весь объем перемещенного грунта  $V$  после разравнивания должен быть уплотнен до значений требуемой плотности, следовательно, объем работ по уплотнению грунта, измеряемый в  $\text{м}^3$ , определяется выражением

$$V_{упл} = V. \quad (2.20)$$

7. Отделочные работы выполняются после завершения основных работ и включают в себя планировочные работы и укрепление откосов.

7 – 1. Планировочные работы.

При выполнении планировочных работ различают планировку горизонтальных и наклонных плоскостей, площадь которых и определяет объем работ (рис. 2.5).

Так как трудоемкость работ по планировке горизонтальных и наклонных поверхностей различна, отдельно определяются площадь планирования верха насыпи  $S_n$  и площади откосов насыпи  $S_o$  с длиной откоса  $l_n$ .

$$S_n = B_{cp} \cdot L. \quad (2.21)$$

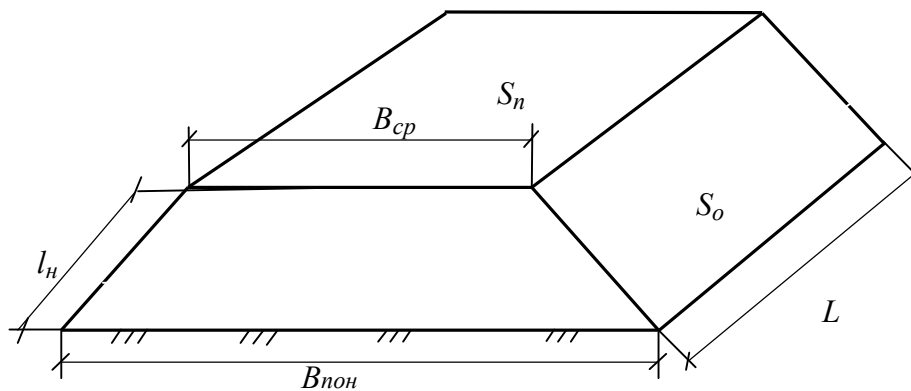


Рис. 2.5. Схема к определению объемов планировочных работ

$$S_o = L \cdot l_n = (\sqrt{h_n^2 + (h_n \cdot m)^2}) \cdot L. \quad (2.22)$$

Следует учесть, что после выполнения планировочных работ верх земляного полотна необходимо доуплотнить.

#### 7 – 2. Укрепление откосов.

Укрепление откосов чаще всего выполняется растительным грунтом, срезанным в начале выполнения основных работ. Для невысоких насыпей (высота насыпи до 3 м) разравнивание растительного грунта на откосы производится бульдозером, в этом случае объем работ ( $m^3$ ) определяется

$$V_{укр} = S_{рс} \cdot h_{рс}. \quad (2.23)$$

Для высоких насыпей (высота насыпи более 3 м) грунт грузится в самосвалы и с обочины разгружается сверху вниз, а затем распределяется по откосу экскаватором. В этом случае объемом работ является площадь укрепления, а единицей измерения –  $m^2$ .

Распространенным и экономичным типом укрепления, особенно для высоких насыпей, является создание дернового покрова путем посева трав на откосах.

Рассчитанные объемы для каждого вида выполняемых работ заносятся в таблицу. Единица измерения объема работ принимается по нормативным таблицам норм времени на выполнение этого вида работ.

*Пример оформления таблицы видов и объемов работ приведен в табл. 2.7.*

### Виды и объемы работ

№ п/п	Виды работ	Ед. изм.	Объем выполняемых работ на всю дорогу
1	Срезка растительного слоя	м <sup>2</sup>	394 680
2	Доуплотнение основания насыпи	м <sup>2</sup>	394 680
3	Разработка и перемещение грунта	м <sup>3</sup>	418672,8
4	Разравнивание грунта	м <sup>3</sup>	418672,8
5	Увлажнение грунта	т	39773,9
6	Уплотнение грунта	м <sup>3</sup>	418672,8
7	Окончательная планировка верха сооружения	м <sup>2</sup>	269 880
8	Доуплотнение верха земляного полотна	м <sup>2</sup>	269 880
9	Окончательная планировка откосов сооружения	м <sup>2</sup>	128641,2
10	Укрепление откосов насыпи	м <sup>3</sup>	47361,6

## 2.2. Определение сроков производства работ

Продолжительность строительного периода является одной из важнейших характеристик строительного производства. Как правило, для повышения ритмичности работы дорожно-строительного подразделения проектируется круглогодичное использование материальных и человеческих ресурсов. В холодное время года зачастую выполняются сосредоточенные работы, большую часть линейных работ производят в теплое время года. Основной объем земляных работ рекомендуется выполнять в наиболее благоприятные периоды года в сухую погоду, когда грунты имеют влажность, близкую к оптимальной или ниже ее значения.

**Сосредоточенные работы** – работы, которые встречаются на отдельных участках или площадях (работы большого объема, выполняемые на коротких участках строительства). К сосредоточенным относятся работы с объемом земляных работ на 1 км, превышающим средний объем земляных работ на 1 км дороги в три и более раз, или резко отличающиеся повышенной сложностью производства. Они, как правило, не повторяются на соседних участках и по сложности производства и большому объему резко отличаются от других работ. К сосредоточенным работам можно отнести полное или частичное



выторфовывание на заболоченных участках, строительство двух- или трехочковой трубы, возведение высоких насыпей, разработку глубоких выемок, постройку малых и больших мостов и т.д.

**Линейные работы** – работы небольших объемов на большом протяжении. Линейные работы равномерно распределены по строящемуся участку и повторяются на каждом километре с небольшими отклонениями от средних значений. К линейным относят работы по строительству слоев дорожной одежды, отсыпку невысоких насыпей, строительство труб, устройство ограждений и дорожных знаков и т.д.

Теплое время года (летний период) охватывает календарный период времени между окончанием весенней и началом осенней распутиц, когда средняя температура воздуха поднимается выше + 5 °С, а холодное время (зимний период) – между окончанием осенней и началом весенней распутиц.

Продолжительность строительного периода при выполнении земляных работ определяется на основе данных прил. Б по формуле

$$T_{стр} = (T_{к} - T_{м} - T_{в} - T_{р}) \cdot K_{см}, \quad (2.24)$$

где  $T_{стр}$  – продолжительность строительного периода, смены;  $T_{к}$  – календарная продолжительность периода, зависит от группы работ, дни;  $T_{м}$  – простои по метеоусловиям в период  $T_{к}$ , дни;  $T_{в}$  – количество выходных и праздничных дней в период  $T_{к}$ ;  $K_{см}$  – коэффициент сменности для данной группы работ (определяется по значениям графика гражданских сумерек) для периода  $T_{к}$ ;  $T_{р}$  – период развертывания потока, дни.

**Период развертывания потока** – период времени, необходимый по технологическим и организационным условиям для последовательного ввода в работу всех средств механизации потока. При возведении насыпи ориентировочно определяется по формуле

$$T_{р} = 3 + 2 \cdot n_{сл}, \quad (2.25)$$

где  $n_{сл}$  – количество слоев в насыпи,  $n_{сл} \approx h_n / 0,3$ .

**Пример.** Определение коэффициента сменности и сроков строительства:

$$K_{см} = \frac{16 \cdot 2 + 30 \cdot 2 + 31 \cdot 2 + 31 \cdot 2 + 30 \cdot 1 + 5 \cdot 1}{144} = 1,53;$$

$$T_{стр} = (144 - 29 - 14 - 9) \cdot 1,53 = 141 \text{ смена.}$$

*Сроки производства работ по строительству одной трубы принимаются условно: для дорог I технической категории – 20 смен, для II категории – 16 смен, для III – 12 смен, для IV – 10 смен.*

*Кроме величины продолжительности строительного периода в проекте необходимо привести в общем виде обоснование распределения видов работ (линейных и сосредоточенных) по периодам года. Так, например, транспортировку и складирование основных строительных материалов можно начинать после окончания осенней распутицы, что позволит сократить количество потребного транспорта в летнее время.*

### **2.3. Определение параметров потока, выбор ведущей машины, подбор состава отряда машин**

**Организация строительства автомобильной дороги** – комплекс мероприятий, разрабатываемых и осуществляемых с целью повышения эффективности, т.е. достижения поставленных задач в плановые сроки при наилучшем использовании производственных ресурсов и соблюдении требований качества работ и охраны окружающей среды. В комплекс мероприятий входят: определение метода строительства, определение состава бригад, расчет числа машин и их участие в процессе строительства. Одним из важнейших вопросов является выбор метода работ: *поточного* или *непоточного (участкового, цикличного)*.

**Участковый метод** состоит в том, что всю строящуюся дорогу разбивают на отдельные участки, строительство которых выполняют и заканчивают в строгой последовательности друг за другом. Каждый участок вводят в эксплуатацию немедленно после окончания на нем работ, т.е. раньше, чем будет закончена вся дорога. При **циклическом (последовательном) методе** все виды работ выполняют поочередно (последовательно) на всем протяжении строящейся дороги. Вначале строят все искусственные сооружения одновременно с земляным полотном, затем слой основания и т.д.

**Поточным методом** организации работ называют такой метод, при котором происходит непрерывный и равномерный выпуск продукции и соответственно непрерывное и равномерное потребление трудовых и материально-технических ресурсов. Основной организационной единицей при поточном методе строительства является *специализированный (частный) поток* – комплекс всех материально-технических и трудовых ресурсов, необходимых для строительства отдельной дорожной конструкции или выполнения отдельного вида работ поточным методом (по расчистке дорожной полосы, строительству малых искусственных сооружений, возведению земляного полотна, строительству дорожной одежды и т.д.). Одной из основных характеристик потока является его *скорость*.

**Потоки с постоянной скоростью** в равные промежутки времени проходят равные по длине участки дороги (поток по строительству слоев дорожной одежды). **Потоки с переменной скоростью** проходят в равные промежутки времени различные по длине участки дороги (поток по возведению земляного полотна). Объединение всех специализированных потоков образует **комплексный поток** по строительству автомобильной дороги.

Наиболее распространенным способом выполнения линейных работ является поточный, при котором подразделения строят сооружения или элементы дороги, передвигаясь непрерывно и параллельно в технологической последовательности. Определяют основные параметры потока по возведению земляного полотна.

**1. Минимальная скорость потока** – минимальная протяженность участка дороги  $L_{\min}$ , которую должен строить специализированный отряд в единицу времени (в смену), чтобы успеть закончить строительство всего запланированного участка  $L$  за отведенное время  $T_{\text{сmp}}$  (м/смену).

$$L_{\min} = L / T_{\text{сmp}}. \quad (2.26)$$

**2. Минимальный темп потока** – минимальный объем земляных работ  $V_{\min}$ , который должен выполнять специализированный отряд в единицу времени (в смену), чтобы успеть выполнить весь объем  $V$  за отведенное время  $T_{\text{сmp}}$  (м<sup>3</sup>/смену).

$$V_{\min} = V / T_{\text{сmp}}. \quad (2.27)$$

Фактически минимальная скорость и минимальный темп потока отличаются друг от друга лишь единицей размерности, характеризуя одну и ту же величину – выполнение объема работ в единицу времени.

Скорость потока и его темп, т.е. производительность отряда в смену, находятся в прямой пропорциональной зависимости от производительности *ведущей машины*. В зависимости от вида и свойств используемого грунта, рельефа местности, высоты насыпи, конструкции земляного полотна, дальности транспортирования грунта, наличия парка дорожно-строительных машин организации для выполнения этой операции могут быть приняты *землеройно-транспортные* или *землеройные машины*. Землеройно-транспортные – машины с ножевым рабочим органом, выполняющие послойное отделение от массива и перемещение грунта к месту укладки при своем поступательном движении. Эти машины выполняют операции *разработки* и *перемещения грунта* (бульдозеры, автогрейдеры, скреперы, грейдеры-элеваторы).

У землеройных машин рабочим органом является ковш, с помощью которого они выполняют операцию по *разработке грунта с последующей погрузкой его в транспортные средства* (экскаватор или погрузчики, работающие в звене с автомобилями-самосвалами).

При возведении невысоких насыпей (высотой до 0,75 м) на равнинном или слабопересеченном рельефе могут использоваться *автогрейдеры* (рис. 2.6). Основным рабочим органом этой машины является отвал, установленный между передним и задним мостами. Применение грейдеров целесообразно на дорогах низких категорий при небольших объемах работ. Чем больше сопротивление и тяжелее условия работы, тем мощнее должен быть автогрейдер.

В зависимости от мощности двигателя и массы машины выпускают легкие (мощностью до 100 кВт; массой 9 т), средние (100...150 кВт; 10...15 т) и тяжелые (свыше 160 кВт; свыше 15 т) автогрейдеры. Легкие автогрейдеры используют для содержания автодорог, средние – при возведении земляного полотна из грунтов средней плотности, а тяжелые – при больших объемах земляных работ в плотных грунтах. Технические характеристики грейдеров и автогрейдеров приведены в табл. 2.8.

*Грейдеры-элеваторы* способны отсыпать более высокие насыпи, до 1,25 – 1,5 м высотой. Могут использоваться при больших объ-

емах работ в равнинных степных районах (рис. 2.7). В настоящее время применяются очень редко.

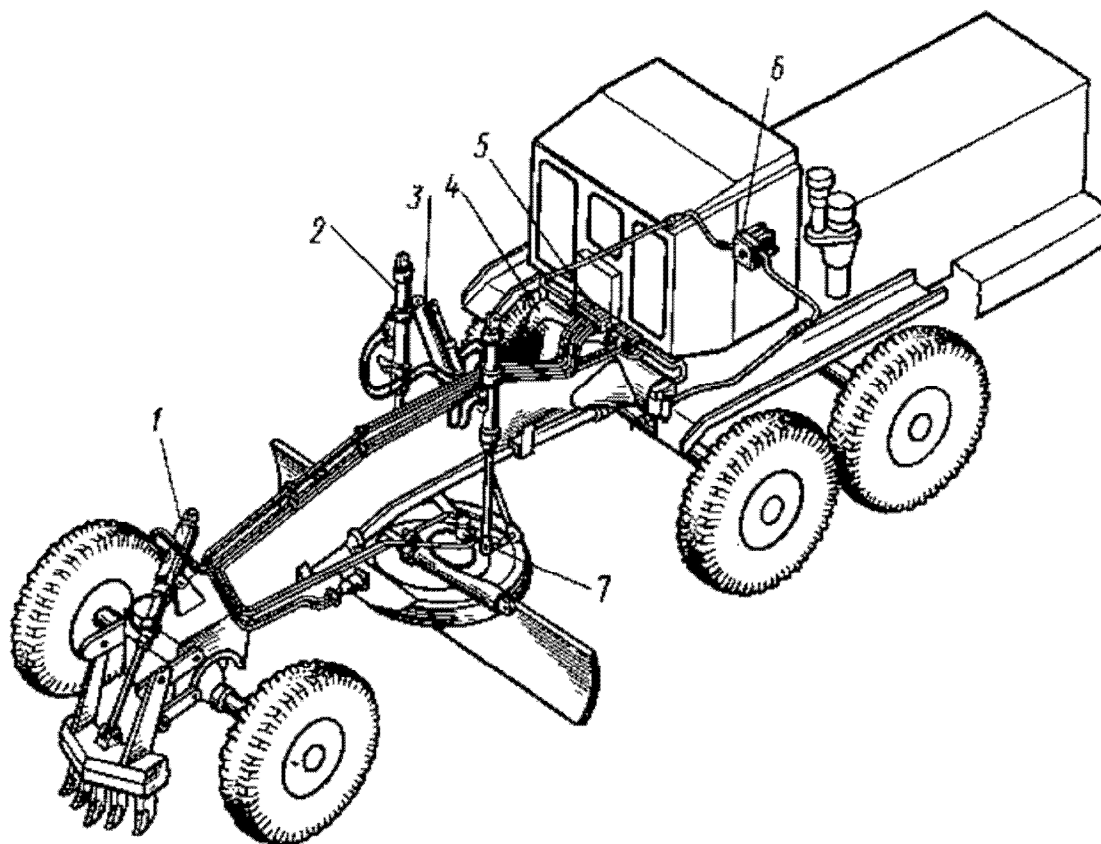


Рис. 2.6. Автогрейдер: 1, 2, 3 – гидродвигатели управления кирковщиком, наклоном и поворотом отвала; 4 – базовый тягач; 5 – распределитель; 6 – насос; 7 – поворотная колонка

Таблица 2.8

### Технические характеристики грейдеров и автогрейдеров

Марка машины	Масса, т	Мощность, кВт	Длина отвала, мм
CATERPILLAR 120H	11,358	104	3660
ДЗ-988	19,8	173	4100
ГС-1402	13,5	100	3740
А-122Б	13,9	107	3744
ДЗ-122	14,6	100	3740
ДЗ-200	15,0	125	3864
ДЗ-98В.1	19,5	198	4270

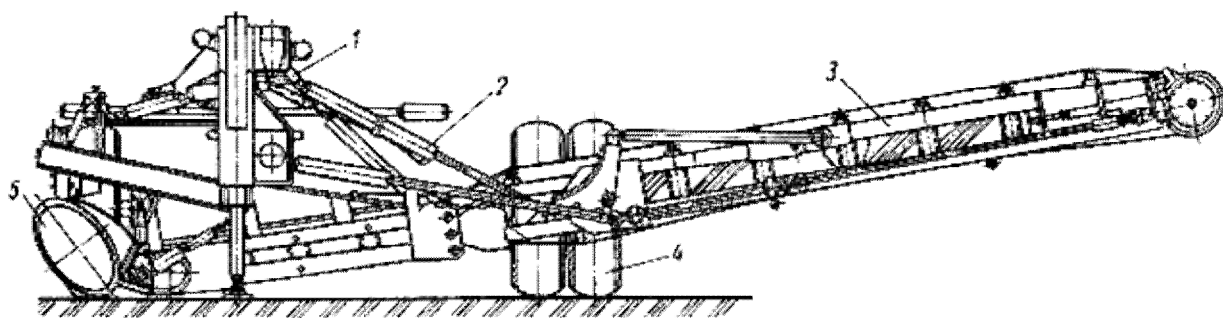


Рис. 2.7. Грейдер-элеватор: 1 – рама; 2 – гидродвигатели управления транспортером; 3 – транспортер; 4 – пневмоколесный ход; 5 – диск или совок

**Бульдозер** – трактор, оборудованный управляемым отвалом с ножом для послойной срезки, перемещения и разравнивания грунта. Для расширения области применения бульдозеров и повышения эффективности их работы отвалы бульдозера оснащают открылками, козырьками, рыхлительными зубьями, откосниками (рис. 2.8).

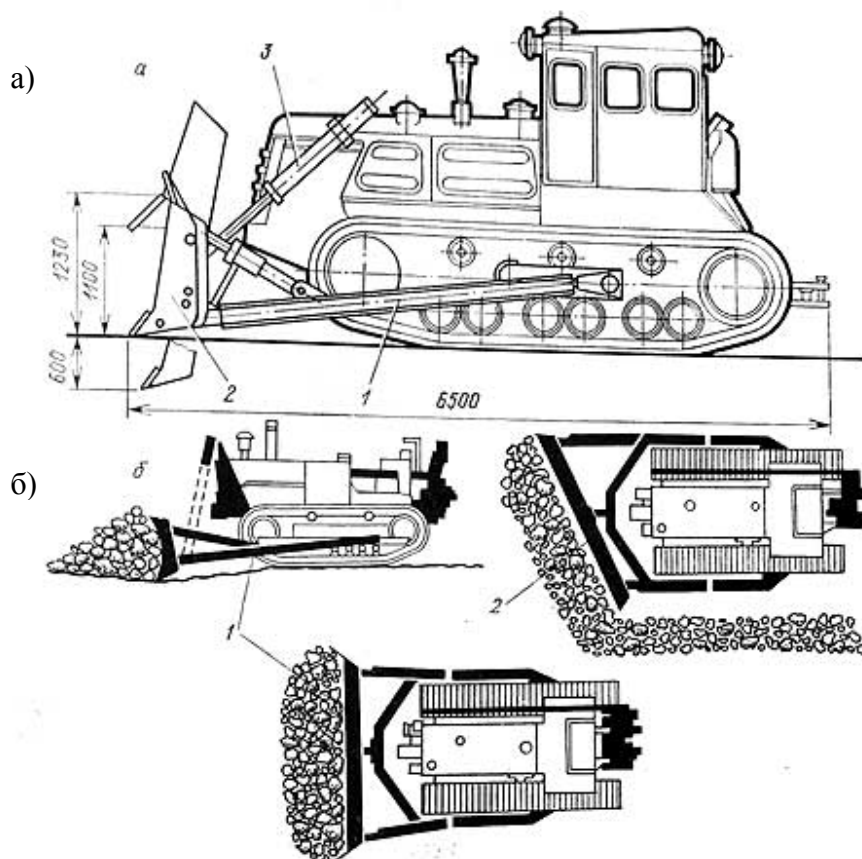


Рис. 2.8. Бульдозер с гидравлической системой управления: а – схема бульдозера; 1 – рама; 2 – отвал; 3 – гидроцилиндр управления отвала; б – схема работы бульдозера с поворотным отвалом; 1 – установка отвала при разработке грунта; 2 – установка отвала при засыпке траншеи

Использование бульдозеров наиболее эффективно при возведении насыпей высотой 1 – 2 м из грунта боковых резервов и дальности перемещения грунта до 50 м (табл. 2.9).

Таблица 2.9

### Технические характеристики бульдозеров

Индекс машины	Тип ходового устройства	Мощность двигателя, кВт	Объём перемещаемого грунта, м <sup>3</sup>
ДЗ-24	Гусеничный	132	4,5
ДЗ-25	Гусеничный	132	4,5
ДЗ-35Б	Гусеничный	132	4,5
ДЗ-118	Гусеничный	243	7,5
ДЗ-171	Гусеничный	125	3,95
Четра-11	Гусеничный	167	5,6
Т-15.01	Гусеничный	175	8,5
ТМ-25.01279	Гусеничный	279	13,3
Четра-К11	Колесный	175	3,0
ТК-25.02	Колесный	382	11,13
CATERPILLAR D3G XL	Гусеничный	52	1,44
CATERPILLAR D5G XL	Гусеничный	67	2,19
CATERPILLAR D6N XL	Гусеничный	104	4,28
KOMATSU D85A-21	Гусеничный	165	8,5
LIEBHERR PR724	Гусеничный	118	4,27

Возведение насыпей высотой до 2,5 – 3,0 м из боковых или сосредоточенных резервов в зависимости от дальности перемещения грунта выполняется *скреперами* (рис. 2.9). *Скреперы* – машины для отделения грунта от массива, его захвата, транспортировки и послойной укладки.

Скрепер является самоходной или прицепной землеройно-транспортной машиной, рабочим органом которой служит ковш на пневмоколесах, снабженный в нижней части ножами для срезания слоя грунта (табл. 2.10). В настоящее время скреперы используются редко.

При использовании скреперов для обеспечения их безопасной работы на строящемся участке необходимо устраивать съезды и въезды на насыпь. Рекомендуемые дальности возки грунта скреперами приведены в табл. 2.11.

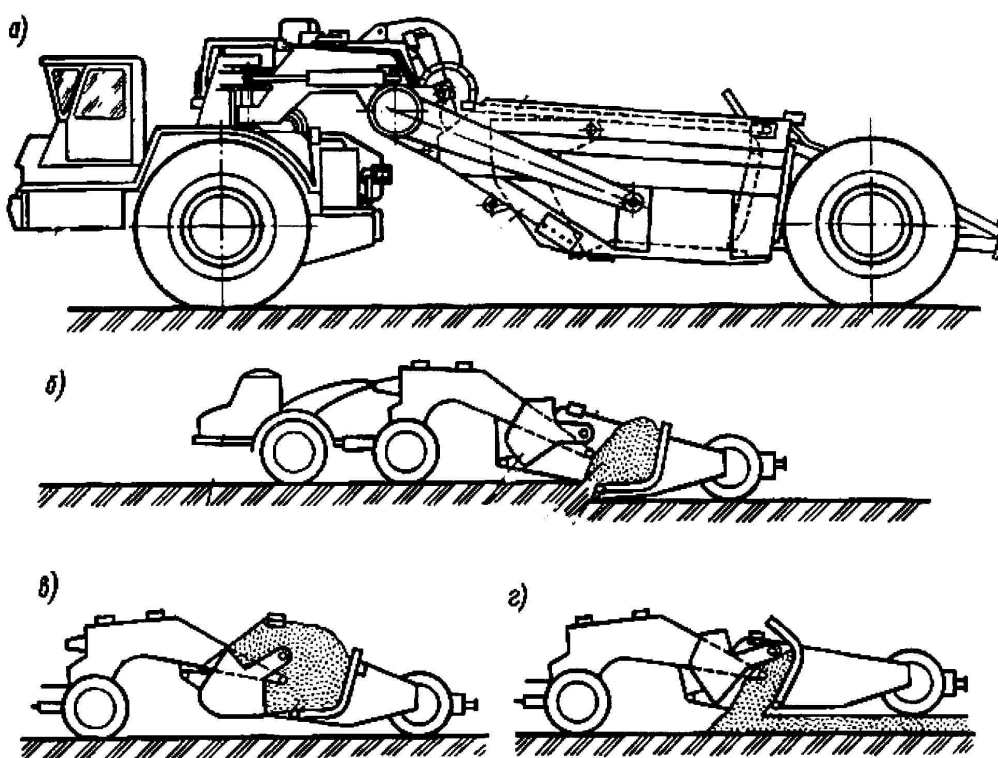


Рис. 2.9. Скреперы: *а* – самоходный скрепер; *б* – набор грунта в ковш; *в* – груженный ход; *г* – разгрузка ковша

Таблица 2.10

### Технические характеристики скреперов

Показатель	ДЗ-33	ДЗ-111	ДЗ-20 ДЗ-20А	ДЗ-87-1	ДЗ -115	ДЗ-13 ДЗ-13А	ДЗ-107
Способ передачи тягового усилия	Прицепной			Полуприцепной	Самоходный		
Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	3,0	4,5	7,0	4,5	15,0	15,0	25,0
Ширина захвата ковша, м	2,1	2,43	2,65	2,43	3,0	2,82	3,9
Глубина резания, м	0,1	0,13	0,3	0,13	0,35	0,35	0,4
Толщина отсыпаемого слоя, м	0,3	0,4	0,15...0,5	0,4	0,15...0,5	0,15...0,5	0,4...0,6



### Рекомендуемые дальности транспортирования грунта скреперами

Объем ковша скрепера, м <sup>3</sup>	Предельные расстояния возки грунта, м	Объем ковша скрепера, м <sup>3</sup>	Предельные расстояния возки грунта, м
Прицепные скреперы		Самоходные скреперы с тягачами на пневматических шинах	
До 3	200	До 10	500–1500
До 6	250–350	До 15	1500–2000
До 10	300–600	До 25	2500–3000

При возведении насыпей из грунтов сосредоточенного резерва с дальностью перемещения грунта автосамосвалами 3 км и более эффективно используются *строительные экскаваторы*. Строительными называют одноковшовые универсальные экскаваторы с основными ковшами вместимостью 0,25 – 2,5 м<sup>3</sup>, оснащаемые различными видами сменного рабочего оборудования (рис. 2.10, табл. 2.12).

Таблица 2.12

### Технические характеристики экскаваторов

Показатель	ЭО-3322Б	ЭО-4321	ЭО-4121А (ЭО-4121)	ЭО-5122 (ЭО-5123)	ЭО-5225	CATERPILLAR 365CL (II)
Вместимость основного ковша, м <sup>3</sup>	0,5	0,65	1,0	1,6	1,85	2,50
Мощность двигателя, кВт	55	59	95,6	125	220	301
Тип ходового устройства	Пневмоколесный		Гусеничный (гусеничный тракторного типа)		Гусеничный	
Наибольшая глубина (высота) копания, м	5,0	6,7	7,1 (7,2)	7,3	6,60	7,63
Наибольший радиус копания, м	8,2	10,16	10,2 (10,6)	10,6	10,8	12,39
Наибольшая высота выгрузки, м	5,2	6,18	5,2	5,5	6,50	8,44

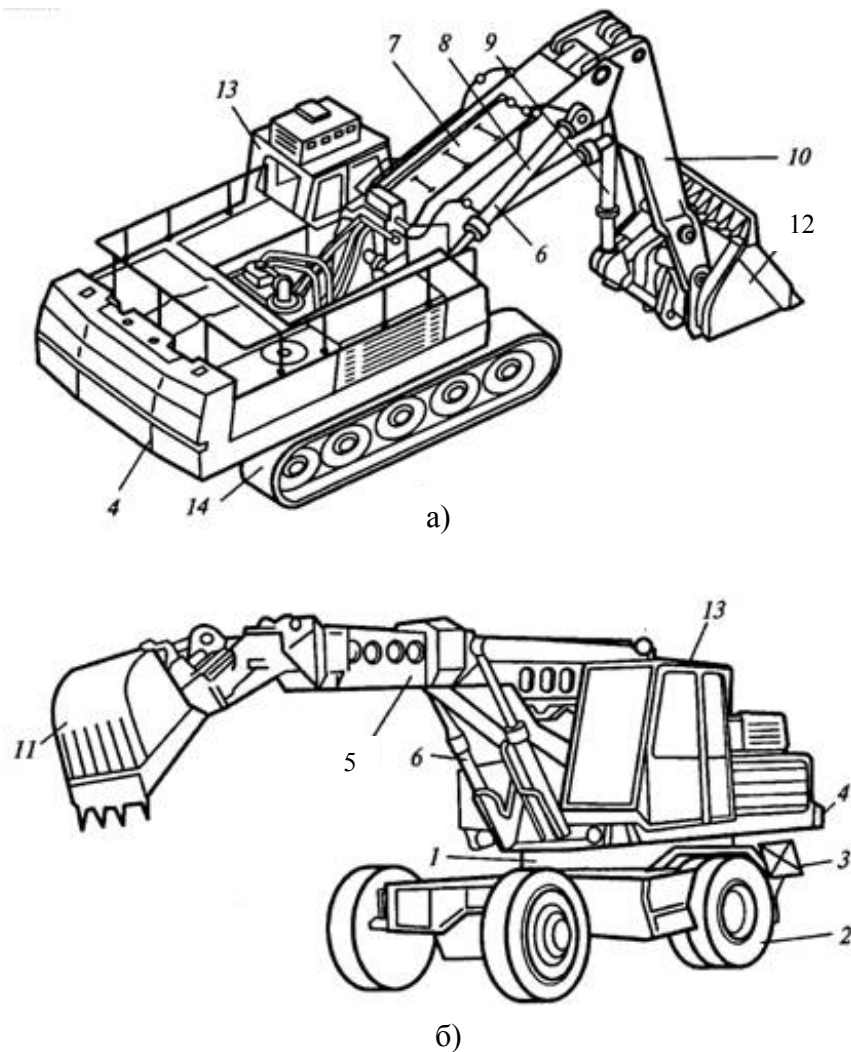


Рис. 2.10. Одноковшовые гидравлические полноповоротные экскаваторы с жесткой подвеской рабочего оборудования: *а* – экскаватор, оборудованный прямой лопатой; *б* – экскаватор, оборудованный обратной лопатой; 1 – опорно-поворотное устройство; 2 – пневмоколесное ходовое устройство; 3 – выносная опора; 4 – поворотная платформа; 5 – телескопическая стрела; 6, 8, 9 – гидроцилиндры стрелы; 7 – стрела; 10 – рукоять; 11 – ковш обратной лопаты; 12 – ковш прямой лопаты; 13 – кабина машиниста; 14 – гусеничное ходовое устройство

В зависимости от геолого-гидрологических условий района разработки грунта и размеров резерва используются экскаваторы с *обратной лопатой*, а также оборудованные *драглайном* (стоянка экскаватора поверху резерва) или экскаваторы с *прямой лопатой* (стоянка экскаватора на дне резерва).

В последнее время широкое использование получили *фронтальные погрузчики* (рис. 2.11).

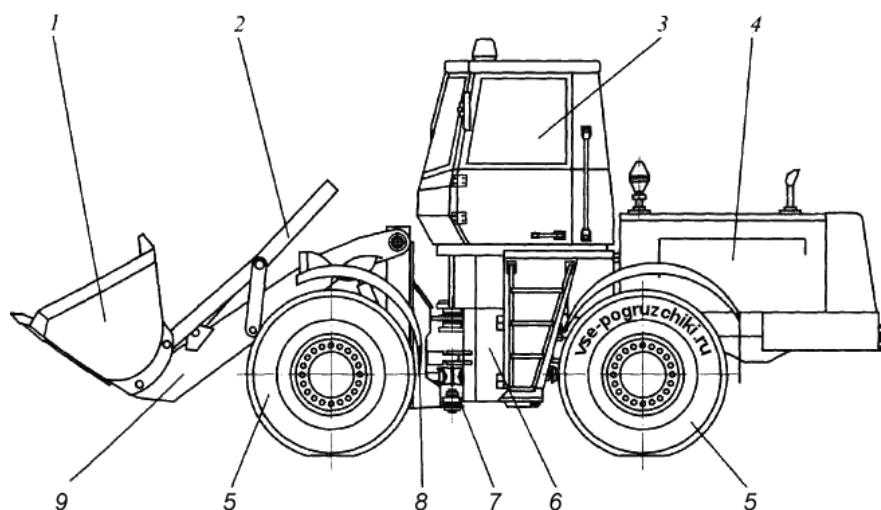


Рис. 2.11. Схема фронтального погрузчика: 1 – ковш; 2 – гидроцилиндры управления ковшом; 3 – кабина оператора; 4 – двигатель; 5 – пневмоколеса; 6 – задняя рама; 7 – шарнирное сочленение рам; 8 – передняя рама; 9 – стрела

**Фронтальный погрузчик** – это маневренная самоходная современная техника, предназначенная для выполнения широкого круга операций, связанных с захватом, подъемом и транспортировкой всевозможных грузов.

Одноковшовые фронтальные погрузчики применяются в транспортном строительстве для складирования разрыхленных грунтов и кусковых каменных материалов в бурты, погрузки сыпучих и кусковых материалов из буртов в транспортные средства, распределения дорожно-строительных материалов, зачистных и планировочных работ и перевалки штучных грузов. При необходимости они могут выполнять и небольшие объемы земляных работ.

Таблица 2.13

**Характеристики фронтальных погрузчиков**

Наименование машины	Объем ковша, м <sup>3</sup>	Вес, кг	Высота разгрузки, м
Hitachi ZW80 и ZW90	0,9	4895	2,5
ТО-18	1,9	10 700	2,8
Caterpillar 972 G	4,5	26 000	3,05

В комплекте с экскаваторами и погрузчиками используются автомобили-самосвалы, которыми грунт транспортируется на строящийся участок. Их грузоподъемность принимается кратной емкости 4 – 5 ковшей экскаватора (табл. 2.14, 2.15). Движение самосвалов происходит либо по отсыпанной насыпи, либо по устроенным въездам и съездам.

Таблица 2.14

#### Технические характеристики автомобилей-самосвалов

Марка автомобиля	Масса перевозимого груза, т	Максимальная скорость, км/ч
КамАЗ-55111	13,000	90
КамАЗ-65111	14,000	80
КамАЗ-65115	15,000	80
КрАЗ-65055	16,000	90
КрАЗ-65032	15,000	72
Татра Т815-250S01	17,000	64
Татра Т815-250S25	16,400	85
Volvo FL 66x4	18,000	90
Volvo FM 6x6	20,000	90
HD255-5	25,000	47

Таблица 2.15

#### Предварительный выбор транспортных средств для перевозки грунта

Вместимость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>	Грузоподъемность автосамосвала, т	Грузоподъемность транспортных прицепов, т
0,8–1,0	5,0–10,0	10,0–15,0
2,0	10,0–25,0	15,0–25,0
3,0 и более	25,0–40,0	25,0–40,0

После выбора ведущей машины определяется ее **производительность** или **норма выработки**, которая определяется при помощи ЕНиРа, сборника Е 2 «Земляные работы».

#### 3. Производительность ведущей машины

$$\Pi = \frac{T_{см} \cdot V_{изм}}{H_{вр}}, \quad (2.28)$$

где  $P$  – производительность машины, м<sup>3</sup>/смену;  $T_{см}$  – продолжительность смены в часах, принимаем  $T_{см} = 8,0$  ч;  $V_{изм}$  – единица измерителя, в данном случае 100 м<sup>3</sup>;  $H_{вр}$  – норма времени на единицу измерителя для выполнения конкретной операции, маш.-ч.

По данным табл. 1 сборника Е 2 определяем группу грунта по трудности разработки механизированным способом. Прочерк в столбцах таблицы означает невозможность выполнения технологической операции с грунтом данной машиной.

Для повышения эффективности работы отряда, как правило, принимается не одна ведущая машина, а звено, состоящее из нескольких машин. Производительность звена землеройных машин принимается за фактический сменный объем работ и является одной из основных характеристик потока.

#### 4. Сменный объем работ

$$V_{см} = n \cdot P, \quad (2.29)$$

где  $n$  – количество ведущих машин в звене.

Обычно сменный объем работ превышает минимально допустимый темп потока ( $V_{мин} < V_{см}$ ). Иначе отряд может не успеть выполнить весь объем работ в заданные сроки. Следовательно, сокращается срок строительства.

5. Уточненный (фактический) срок строительства определяется из выражения

$$T_{стр}^{\phi} = V / V_{см}, \quad (2.30)$$

где  $V$  – объем земляных работ на весь строящийся участок.

На основании фактического срока строительства определяется длина сменной захватки  $L_{захв}$ . **Сменная захватка** – участок дороги (в метрах), на котором звено машин или несколько звеньев выполняют одну или несколько технологических операций, время работы которых ограничено продолжительностью смены.

#### 6. Длина захватки

$$L_{захв} = L / T_{стр}^{\phi}. \quad (2.31)$$

Следует отметить, что в реальных условиях выполнения строительных работ по возведению насыпей их высота постоянно меняется

из-за неровностей рельефа местности, в связи с чем длина захватки  $L_{захв}$  является меняющейся величиной, в отличие от постоянного значения сменного объема работ  $V_{см}$ .

**Пример.** Определение параметров потока для рассматриваемого примера выполняется следующим образом:

1. Минимальная скорость потока

$$L_{\min} = 13\,000/141 = 93 \text{ м/смену.}$$

2. Минимальный темп потока

$$V_{\min} = 418672,8/141 = 2969,3 \text{ м}^3/\text{смену.}$$

3. Производительность ведущей машины скрепера ДЗ-26

$$\Pi = \frac{8 \cdot 100}{1,5} = 533,33 \text{ м}^3/\text{смену.}$$

4. Сменный объем работ

$$n = \frac{2969,3}{533,33} = 5,6 \Rightarrow n = 7 \text{ машин.}$$

Увеличиваем количество машин с 6 до 7 для понижения коэффициента использования ведущей машины (для возможности разравнивания грунта сразу после его транспортировки и разгрузки).

$$V_{см} = 7 \cdot 533,33 = 3733,31 \text{ м}^3/\text{смену.}$$

5. Уточненный (фактический) срок строительства

$$T_{стр}^{\phi} = 418672,8/3733,31 = 113 \text{ смен.}$$

6. Длина захватки

$$L_{захв} = 13\,000/113 = 115 \text{ м/см.}$$

Производительность большинства дорожно-строительных машин определяется по формуле (2.28), за исключением автомобилей-самосвалов и поливомоечных машин.

Производительность автомобилей-самосвалов  $\Pi_c$  (т) определяется по формуле

$$\Pi_c = \frac{T \cdot q \cdot K}{\frac{2 \cdot l}{V} + t}, \quad (2.32)$$

где  $T$  – продолжительность рабочей смены, ч;  $q$  – грузоподъемность автомобиля-самосвала, т;  $K$  – коэффициент использования автомобиля-самосвала в течение смены,  $K = 0,85$ ;  $l$  – дальность возки, км;  $V$  – средняя скорость движения автомобиля по грунтовой дороге, км/ч (ориентировочно равная 30 км/ч);  $t$  – среднее время простоев автомо-

билей-самосвалов под погрузкой, разгрузкой и маневрированием, ч (зависит от грузоподъемности автомобиля: 8 т – 0,25 ч; 10 т – 0,30 ч; 14 т – 0,35 ч).

Производительность поливомоечной машины  $P_{II}$  (т) определяется по формуле

$$P_{II} = \frac{T \cdot K \cdot Q}{\frac{2 \cdot l}{V} + t_1 + t_2}, \quad (2.33)$$

где  $K$  – коэффициент внутрисменного использования машины,  $K = 0,85$ ;  $Q$  – вместимость цистерны,  $Q = 6$  т;  $t_1$  – время, затрачиваемое на заполнение цистерны водой из водоема насосом со скоростью 1800 л/мин (или 0,10 ч) с учетом времени, затрачиваемого на присоединение и отсоединение шланга (0,06 ч).  $t_1 = 0,16$  ч;  $t_2$  – время, затрачиваемое на слив (или розлив) воды,  $t_2 = 0,5$  ч.

Для принятой ведущей машины назначается отряд **вспомогательных машин**, выполняющих следующие технологические операции:

- срезка растительного слоя – бульдозер, автогрейдер, скрепер;
- доуплотнение подошвы насыпи – каток;
- разравнивание грунта – бульдозер, автогрейдер;
- увлажнение грунта – поливомоечная машина;
- уплотнение грунта – каток;
- планировка поверхности насыпи – автогрейдер, бульдозер с откосниками, экскаватор-планировщик;
- доуплотнение верха насыпи – каток;
- укрепительные работы – поливомоечная машина, автогрейдер, экскаватор-планировщик.

Ведущие и вспомогательные машины образуют специализированный отряд машин. Количество вспомогательных машин подбирается в зависимости от сменного объема работ.

Отсыпка насыпи выполняется послойно. Толщина слоев насыпи  $h_1, h_2, \dots, h_i$  определяется возможностями **уплотняющей машины**. Классификация уплотняющих средств приведена на рис. 2.12.

**Катки** являются наиболее распространенными и простыми уплотняющими машинами. Уплотнение грунта осуществляют одним из следующих способов: **укаткой, трамбованием и вибрированием**.

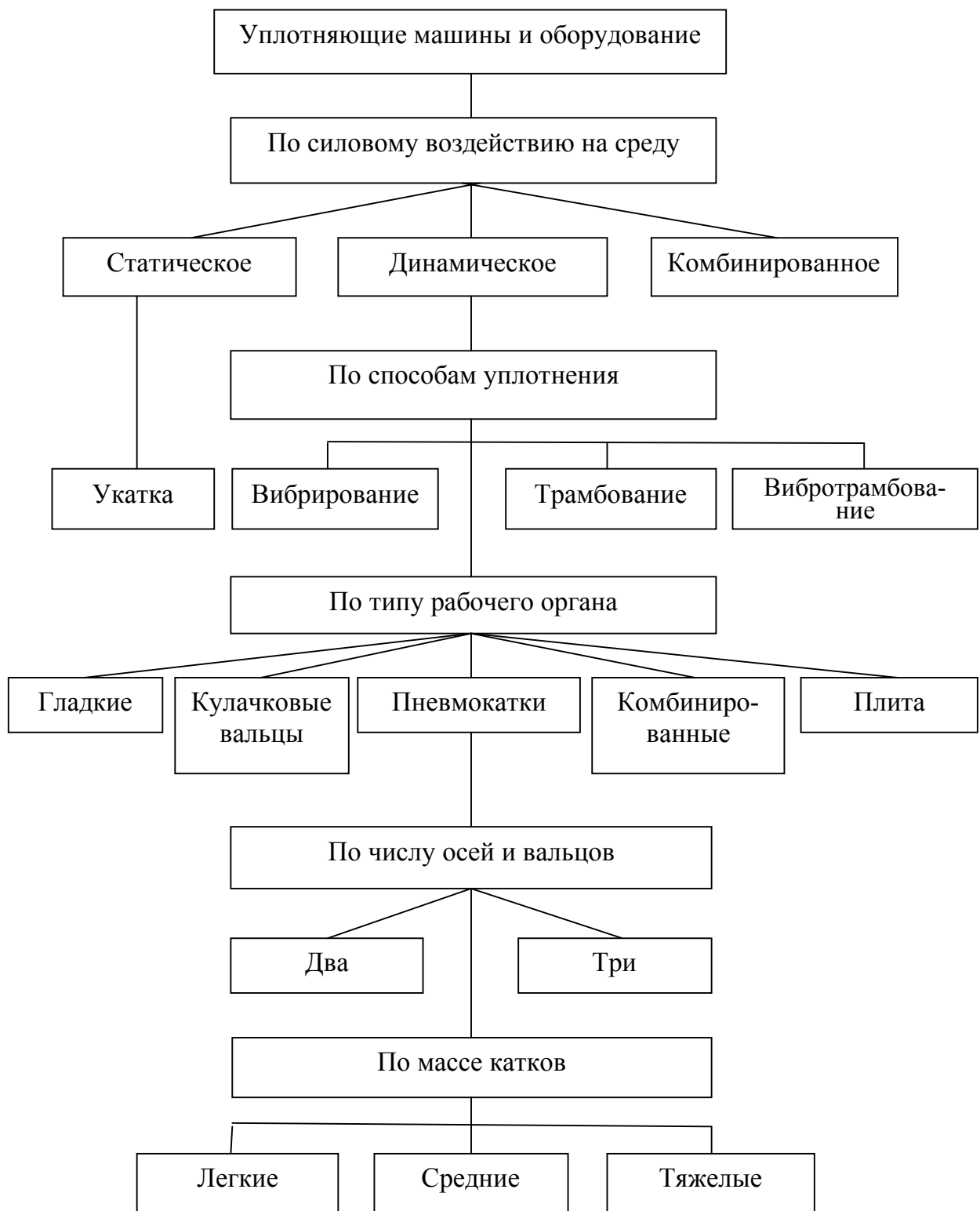


Рис. 2.12. Классификация уплотняющих средств

В зависимости от способа уплотнения средства для уплотнения разделяют на катки, трамбуемые машины или плиты и виброплиты или виброплощадки. Возможны комбинированные средства в виде



виброкатков, оказывающих наряду со статическим воздействием и вибрационное действие на грунт. Работа всех машин для уплотнения связана с приложением к поверхности грунтового слоя циклических нагрузок. Под последними понимаются следующие друг за другом процессы нагрузки и разгрузки грунтов.

В результате внешних силовых воздействий в уплотняемом материале накапливаются необратимые (остаточные) деформации, способствующие повышению его плотности (рис. 2.13).

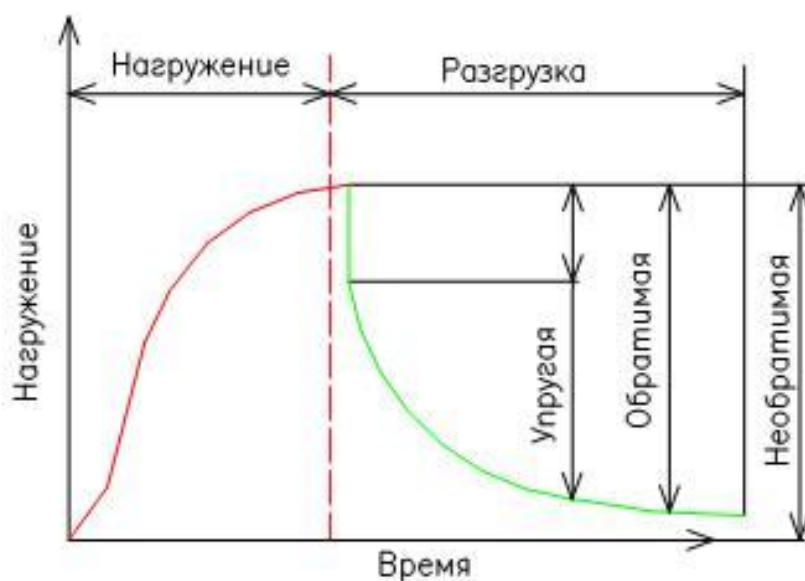


Рис. 2.13. Обратимые и необратимые деформации грунтов

Выбор машин для уплотнения грунтов земляного полотна зависит от вида грунта, условий и объема работ на участке (рис. 2.14, табл. 2.16).

**Катки на пневматических шинах** – наиболее универсальные машины для уплотнения грунтов (рис. 2.15).

Постепенное повышение удельных давлений – одно из основных требований при уплотнении связных грунтов, обеспечивающее получение плотной и прочной структуры грунта по всей толщине слоя.

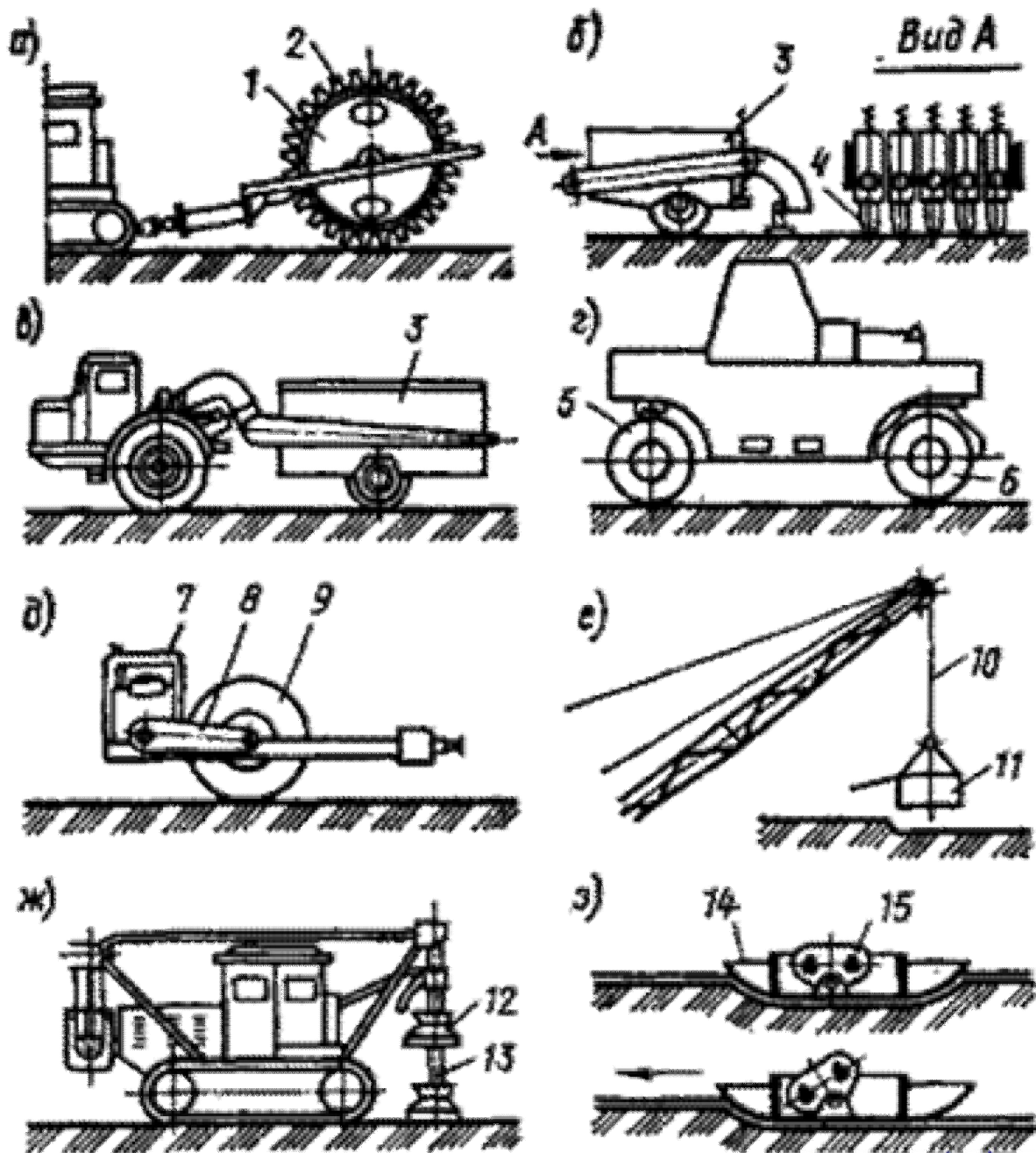


Рис. 2.14. Схемы машин для уплотнения грунтов и дорожных покрытий:  
*a* – кулачковый прицепной каток; *б* – прицепной пневмоколесный; *в* – полуприцепной пневмоколесный; *г* – пневмоколесный самоходный; *д* – прицепной с вибровальцем; *е* – свободно падающая плита на экскаваторе; *ж* – самоходная трамбуемая машина; *з* – вибротрамбуемая плита; *1* – барабан вальца; *2* – кулачки; *3* – бункер с балластом; *4, 5, 6* – пневмовальцы; *7* – двигатель; *8* – передача; *9* – вибровалец; *10* – подъемный канат; *11, 12* – трамбуемые плиты; *13* – направляющая штанга; *14* – плита; *15* – вибратор направленного действия

Таблица 2.16

**Выбор машин для послойного уплотнения  
грунта насыпи земляного полотна**

Уплотняемые грунты и конструкции	Уплотняющие машины	Рекомендуемый тип машин при среднегодо- вом объеме работ на объекте, тыс. м <sup>3</sup>	
		от 50 до 500	от 1000 до 3000
Связные грунты слоями толщиной 30 см	Катки кулачковые, прицепные массой, т	18	Не приме- няют
	Катки на пневмошинах, прицепные и полуприцепные (седельного типа) с регулируемым давлением в шинах массой, т	25 – 30	25(30) – 60
Несвязные грунты слоями толщиной 25 – 30 см	Катки на пневмошинах, секционные, прицепные и полуприцепные с регули- руемым давлением в шинах массой, т	25 – 30	60 – 100
	Виброкатки массой 4...8 т, 12...16 т		
Несвязные и обло- мочные грунты слоями толщиной 25 – 30 см	Катки вибрационные, прицепные и са- моходные массой 4...8 т, 12...16 т	3 – 10	10 – 13
	Комбинированные катки		
Обломочные грунты и грунты, уклады- ваемые в зимнее время слоями тол- щиной 50 – 80 см, а также грунты, уп- лотняемые в стес- ненных условиях	Электро-, мото- или пневмовибро- трамбовки	Механи- зирова- нный инст- румент	Механи- зирова- нный инст- румент
	Катки вибрационные массой 4...8 т, 12...16 т	8 – 10	10 – 14
	Комбинированные катки		
Откосы насыпей	Виброкатки самоходные и прицепные, подвешенные к стреле экскаваторов, массой 4...6 т	До 1	До 1
	Трамбующие плиты, подвешенные к стреле экскаваторов, массой, т	1,5 – 2	1,5 – 2

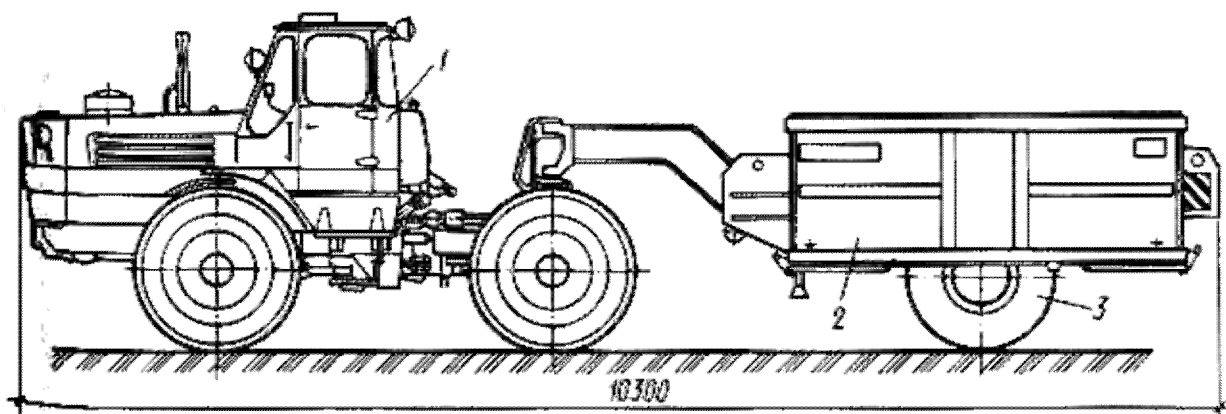


Рис. 2.15. Прицепной пневмоколесный каток:  
1 – колесный трактор; 2 – бункера; 3 – колеса

**Кулачковые катки** представляют собой гладкий цилиндрический барабан, на поверхности которого в несколько рядов укреплены выступы – кулачки (рис. 2.16). Они эффективны при уплотнении связных грунтов.

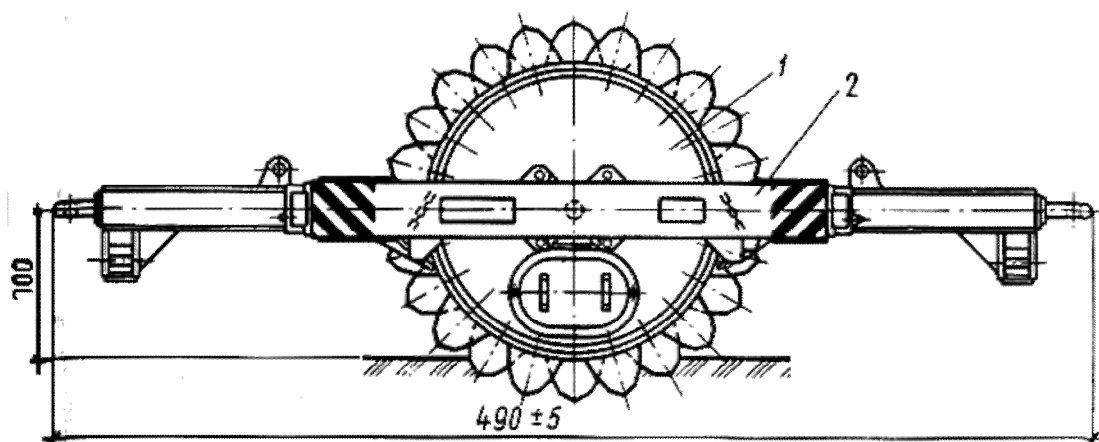


Рис. 2.16. Прицепной кулачковый каток: 1 – кулачки; 2 – рама

Обладая одинаковым с гладковальцовыми катками весом, они дают большую толщину уплотняемого слоя. Однако при этом идет разуплотнение верхнего слоя грунта толщиной 0,05 – 0,07 м, что вызывает необходимость завершать уплотнение верхнего слоя вальцовыми катками или катками на пневмошинах. Кулачковые катки не используются при работе с переувлажненными грунтами.

**Гладковальцовые прицепные катки** пригодны для уплотнения грунтов, но они уплотняют тонкие слои и требуют сравнительно большое количество проходов на малых скоростях и большой фронт

работ, в последнее время все реже используются для уплотнения грунтов. Гладковальцовые самоходные катки массой 5 – 20 т в основном используются при уплотнении слоев дорожной одежды и реже при уплотнении грунтов.

**Виброкатки** наиболее распространены, так как в настоящее время являются наиболее эффективными грунтоуплотняющими средствами, способными обеспечить требуемое качество работ (рис. 2.17). Катки оснащены вибросистемами, создающими дополнительное давление на поверхность уплотняемого материала за счет некомпенсированной массы внутри барабана катка. Виброкатки на первых проходах работают с выключенным вибратором (как легкие, 2–4 прохода), а затем – с включенным (4–6 проходов).

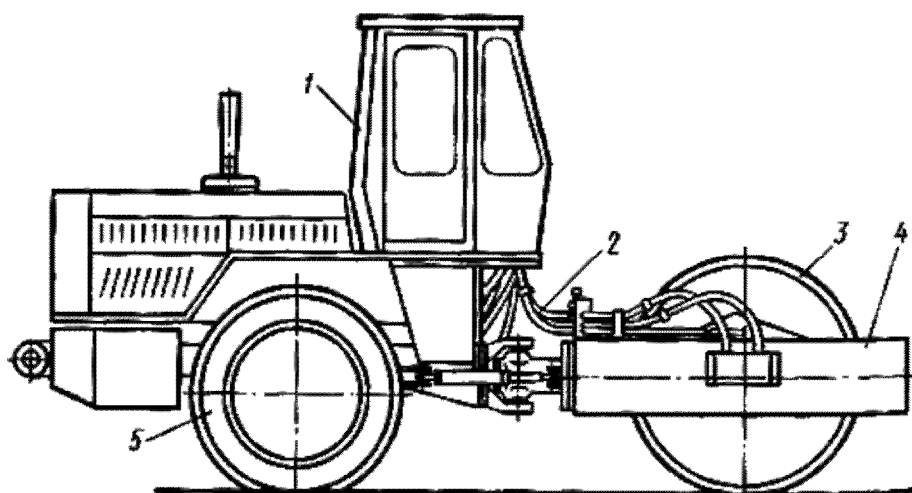


Рис. 2.17. Самоходный вибрационный каток: 1 – тягач; 2 – гидрооборудование; 3 – вибровалец; 4 – рама; 5 – ходовая часть

Высокий эффект уплотнения достигается путем вибрационного воздействия пустотелого барабана со ступицами – вальца. Современные модели виброкатков имеют, как правило, два исполнения – с гладким и кулачковым вальцами.

Вибрационная система современного ряда катков состоит из двух валов с дебалансами, установленных в вальце катка. Эти валы вращаются навстречу друг другу. Положение дебалансов может меняться на валах относительно друг друга, что позволяет получить колебания различного направления и интенсивности. **Осцилляція** – следующий шаг в технологии виброуплотнения. В отличие от виброкатков, катки с осцилляцией имеют другое расположение эксцентри-

ков, и энергия вибрации идет не под прямым углом вниз, а имеет определенный угол (рис. 2.18).

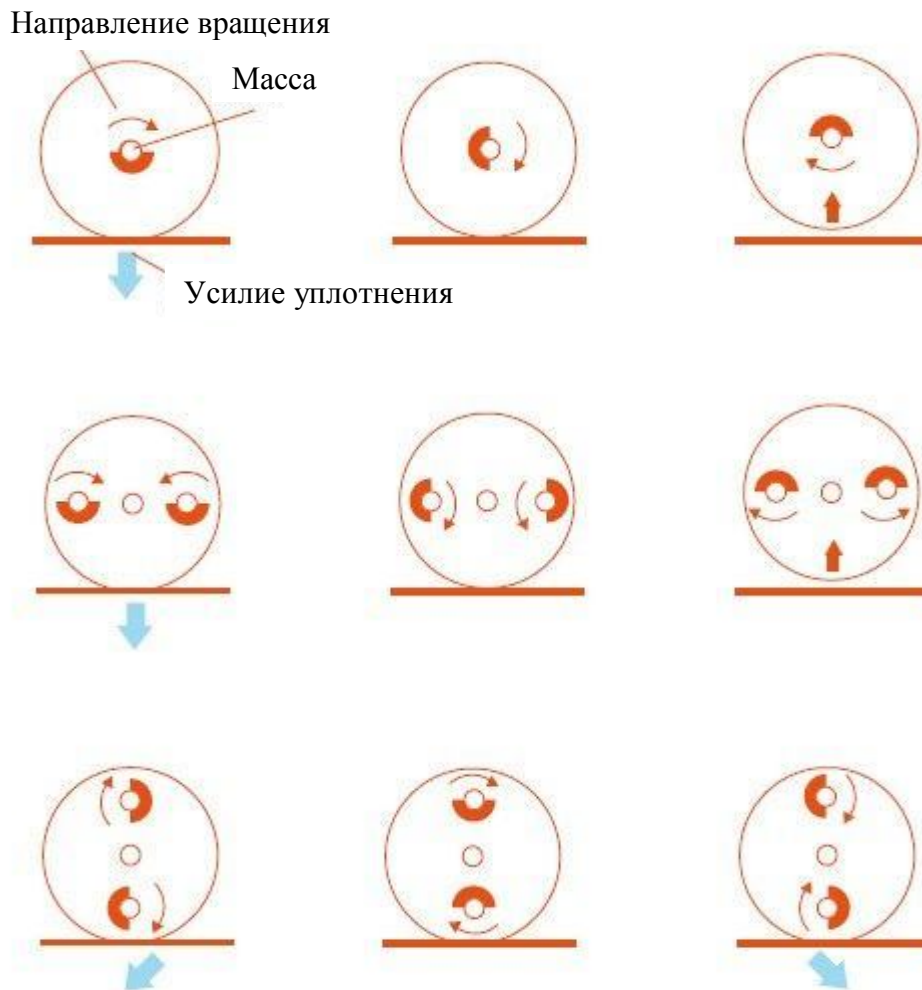


Рис. 2.18. Способы воздействия эксцентриков валцов с вибрацией и осцилляцией на уплотняемую поверхность (во втором и третьем ряду валцы с осцилляцией)

За счет этой технологии в первую очередь уменьшается площадь, на которую воздействует энергия уплотнения катка.

Этот способ широко используется в городских условиях, практически не воздействуя на фундамент окружающих зданий, а также при работах на мостах.

В последнее время выпускаются грунтовые катки с технологией VIО – эта опция позволяет совместить в одном барабане систему вибрации и осцилляции. При этом оператор вручную выбирает, какой тип уплотнения ему нужен в данный момент. Переключение может быть выполнено даже в движении. Наиболее часто применяют подоб-

ные катки в городских условиях, вблизи зданий, в сложных условиях на песочных грунтах.

**Прицепные решетчатые катки** имеют опорную поверхность в виде решетки и эффективны при уплотнении крупнообломочных и гравелистых грунтов, грунтов с примесью мерзлых комьев, связных комковатых грунтов, но они в настоящее время практически используются редко (рис. 2.19).

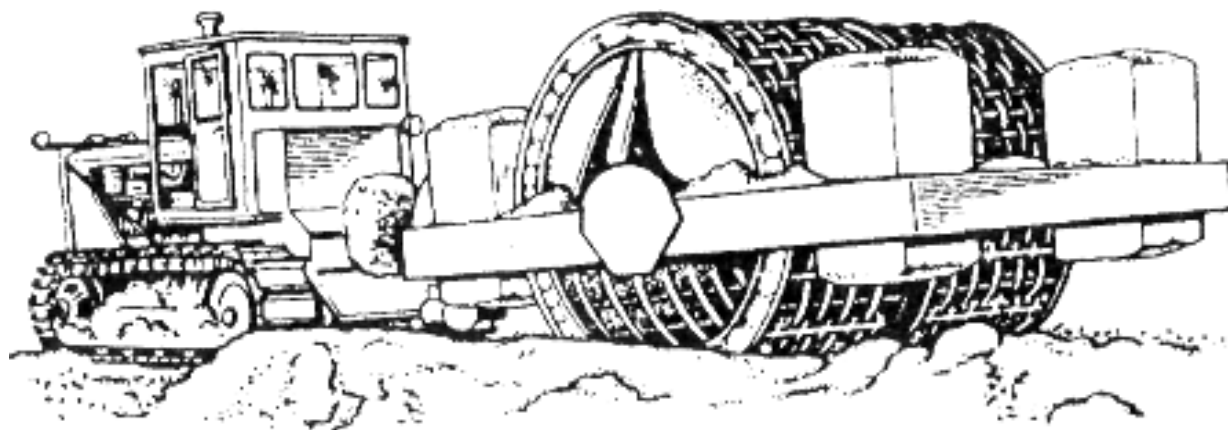


Рис. 2.19. Прицепной решетчатый каток

Эффективная толщина уплотняемого слоя грунта для традиционно используемых уплотняющих средств не превышает 0,3 – 0,5 м. Исключение составляют виброкатки, для них толщина уплотняемого слоя колеблется от 0,5 до 0,8 м.

Машины, выполняющие операции перемещения и разравнивания грунта, также выполняют и его предварительное, начальное уплотнение (табл. 2.17).

Таблица 2.17

**Значения начального коэффициента уплотнения грунта при работе землеройно-транспортных машин**

Наименования машин	Значения начального коэффициента уплотнения грунта
Бульдозеры	0,8 – 0,85
Автомобили-самосвалы	0,85 – 0,90
Скреперы	0,90 – 0,92

В производственных условиях толщина слоя и количество проходов катка по одному следу определяются методом «пробной укатки». Ориентировочное количество проходов катка приведено в табл. 2.18.

Таблица 2.18

**Ориентировочное количество проходов катка по одному следу  
при пробном уплотнении**

Виды уплотняющей машины	Толщина слоя грунта, см					
	песка	супеси легкой	суглинка, глины		крупнообломочного мерзлого (комья)	
			0,95	0,98...1,00	0,95	0,98...1,00
	при коэффициенте уплотнения					
Каток на пневматических шинах массой 20...30 т (ДУ-29, ДУ-39А, ДУ-16В, ДУ-55)	$\frac{14}{40}$	$\frac{18}{30}$	$\frac{16}{35}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{16}{20}$	$\frac{20}{15}$
Каток на пневматических шинах массой 15...16 т (ДУ-37)	$\frac{16}{25}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{22}{15}$	–	–
Каток кулачковый массой 16...20 т решетчатый (ДУ-52, ДУ-57)	$\frac{8}{40}$	$\frac{12}{30}$	$\frac{8}{35}$	$\frac{12}{20}$	$\frac{6}{40}$	$\frac{8}{30}$
То же массой 8 т (ДУ-26)	$\frac{6}{30}$	$\frac{9}{20}$	$\frac{8}{30}$	$\frac{12}{20}$	$\frac{6}{20}$	–
Каток вибрационный массой 4...8 т	$\frac{4}{75}$	$\frac{6}{40}$	–	–	$\frac{4}{60}$	$\frac{6}{40}$
То же массой 12...16 т	$\frac{6}{100}$	$\frac{8}{60}$	–	–	$\frac{6}{80}$	$\frac{8}{60}$
Трамбовочная плита массой 5,50 т, высота падения 5...7 м	$\frac{3}{100}$	$\frac{6}{120}$	$\frac{3}{120}$	$\frac{6}{90}$	$\frac{4}{120}$	$\frac{8}{90}$
Автомобили - самосвалы массой 10...15 т (КамАЗ, МАЗ и др.)	$\frac{15}{20}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{20}{20}$	–	–	–
Скрепер вместимостью ковша 9...15 м <sup>3</sup>	$\frac{16}{25}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{18}{20}$	$\frac{22}{20}$	$\frac{20}{20}$	–
То же 7...8 м <sup>3</sup>	$\frac{16}{25}$	$\frac{20}{20}$	$\frac{16}{20}$	$\frac{20}{20}$	–	–

*Примечания:*

1. Над чертой указано количество проходов по одному следу, под чертой – толщина уплотняемого слоя.

2. Показатели приведены для катков с полной загрузкой балластом и нормальным давлением в шинах.



Используются и катки комбинированного типа, сочетающие в себе элементы различных типов катков, а также вальцовые катки со съемными кожухами (кулачковыми, решетчатыми).

Таблица 2.19

### Технические характеристики катков

Марка катка	Тип катка	Эксплуатационная масса, т	Ширина полосы уплотнения, мм	Мощность двигателя, кВт
ДУ-84	Комбинированные	14,000	2000	151
ДУ-97		7,600	1700	58
ДУ-111		7,000	1700	58
CATERPILLER CB-535B		14,080	1700	80
БК-24		23,000	2995	180
ДУ-82	Виброкаток	3,500	1300	25,7
AMMAN AV 40-2		3,900	1300	22,3
CATERPILLER CB334EXW		4,150	2130	37
CATERPILLER CB634D		12,800	2130	108
ЗАО «Раскат» ДУ-74		7,3–8,5	1700	57,4

Ниже приведены технические характеристики вспомогательных машин для комплектования специализированного потока (табл. 2.19 – 2.21).

Таблица 2.20

### Технические характеристики экскаваторов-планировщиков

Марка экскаватора	Базовое шасси	Мощность двигателя рабочего оборудования, кВт	Максимальный радиус планировки, м
ЭО-43214	КамАЗ-43118	100	9,00
EW-25-M1.100	КамАЗ-53228	100	12,00
UDS 214	Tatra 815-2	84,5	9,50

## Технические характеристики поливомоечных машин

Показатель	Марка машины		
	КО-829А1-01	КО-713Н-41	КО-829А-01
Объем цистерны, л	7000	6100	7000
Базовая машина	КамАЗ-43253	МАЗ-438043	ЗИЛ-433362
Ширина рабочей зоны при поливе, м	2,5	2,5	2,5

После выбора машин определяем их производительность. Все объемы работ пересчитываем по слоям, начиная с нижележащего слоя, на длину принятой захватки  $L_{захв}$  (рис. 2.20).

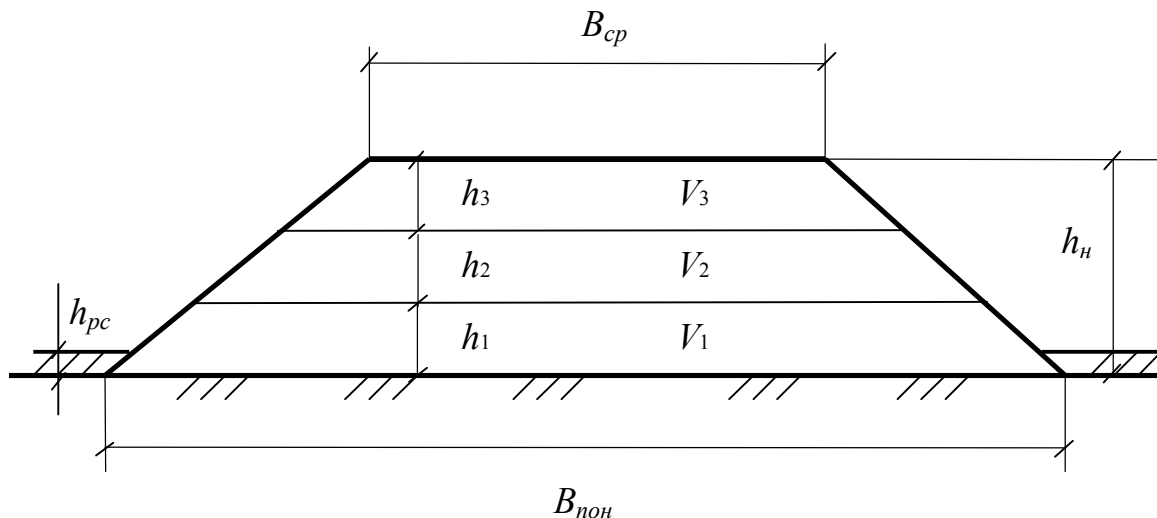


Рис. 2.20. Схема к определению послойных объемов работ

Имея сменный объем  $V_{см}$  и производительность машины  $\Pi$ , можно определить количество маш.-смен  $n$ , потребное для выполнения этого объема работ, которое характеризует трудоемкость процесса.

$$n = V / \Pi, \quad (2.34)$$

где  $V$  – объем работ;  $\Pi$  – производительность машины.

Для каждой машины определяем коэффициент ее использования  $K_{исп}$  в течение рабочей смены:

$$K_{исп} = n / n_{пр}, \quad (2.35)$$

где  $n_{пр}$  – принятое количество машин.

При эффективной организации работ на строящемся участке коэффициент использования каждой машины в течение рабочей смены должен приближаться к единице, но не превышать значений 1,05 – 1,1.

**Пример.** Для рассматриваемого примера послойные объемы работ (для четырех слоев по 0,3 м толщиной), производительность машин, выполняющих эти работы, их количество и коэффициенты использования в течение рабочей смены заносим в калькуляцию трудовых затрат на возведение земляного полотна (табл. 2.22).

## 2.4. Определение технико-экономических показателей отряда

### 1. Производительность отряда в смену

$$П_{отр} = V_{см}. \quad (2.36)$$

2. **Средняя сменная выработка** – количество строительной продукции (в данном случае м<sup>3</sup> грунта), приходящееся в среднем на одного работающего за единицу времени (смену).

$$B = \frac{П_{отр}}{N}, \quad (2.37)$$

где  $N$  – количество рабочих в отряде.

### 3. Энергоемкость работ

$$\mathcal{E}_e = \frac{\sum M \cdot n \cdot t}{П_{отр}}, \quad (2.38)$$

где  $M$  – мощность двигателей механизмов в отряде, кВт;  $n$  – количество однотипных машин в отряде, шт.;  $t$  – продолжительность смены, ч.

4. **Энерговооруженность рабочих в отряде** – показатель расходуемой мощности, приходящейся на одного производственного рабочего (кВт/чел.).

$$\mathcal{E}_s = \frac{\sum M \cdot n}{N}. \quad (2.39)$$

*Пример.* Для рассматриваемого примера:

1. Производительность отряда в смену

$$P_{отр} = V_{см} = 3733,31 \text{ м}^3/\text{смену}.$$

2. Средняя выработка в смену

$$B = \frac{3733,31}{21} = 177,78 \text{ м}^3/\text{чел.-смену}.$$

3. Энергоемкость работ

$$\mathcal{E} = \frac{6 \cdot 96 + 1 \cdot 118 + 15 \cdot 132}{3733,31} \cdot 8 = 5,73 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3.$$

4. Энерговооруженность в отряде

$$\mathcal{E}_s = \frac{6 \cdot 96 + 1 \cdot 118 + 15 \cdot 132}{21} = 127,33 \text{ кВт}/\text{чел}.$$

Таблица 2.22

Калькуляция трудовых затрат на возведение земляного полотна  $h_n = 1,2$  м;  $L_{захв} = 115$  м

Номер процесса	Номер захв.	Наименование технологического процесса	Источник обоснования норм	Ед. измер.	Объемы работ	Производительность, маш./см.	Количество маш. /см.		$K_{исп}$
							расчетное	принятое	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	I	Снятие (срезка) растительного слоя за 1-2 прохода по одному следу бульдозером ДЗ-28	Е2-1-5	м <sup>2</sup>	3491,40	12121,2	0,29	1	0,29
2	I	Доуплотнение подошвы насыпи самоходным пневколесным катком ДУ-29А при ширине уплотняемой полосы 2,22 м , при 12 проходах по одному следу	Е2-1-31	м <sup>2</sup>	3491,40	3636,36	0,96	1	0,96
3	I	Разработка и перемещение грунта первого слоя самоходным скрепером ДЗ-26	Е2-1-21	м <sup>3</sup>	1056,32	533,33	1,98	2	0,99
4	II	Разравнивание грунта первого слоя бульдозером ДЗ-35С толщиной 0,3 м	Е2-1-28	м <sup>3</sup>	1056,32	2105,26	0,5	1	0,5
5	II	Подвоз воды на среднее расстояние 6,5 км поливочной машиной с розливом по поверхности грунта	Расчет	т	97,18	28,47	3,41	4	0,85
6	II	Уплотнение грунта первого слоя толщиной 0,3 м самоходным катком на пневмошинах ДУ-29А при 12 проходах по одному следу	Е2-1-31	м <sup>3</sup>	1056,32	1012,66	1,043	2	0,52

Продолжение табл. 2.22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	III	Разработка и перемещение грунта второго слоя самоходным скрепером ДЗ-26	Е2-1-21	м <sup>3</sup>	923,22	533,33	1,73	2	0,86
8	III	Разравнивание грунта второго слоя бульдозером ДЗ-35С толщиной 0,3 м	Е2-1-28	м <sup>3</sup>	923,22	2105,26	0,44	1	0,44
9	III	Подвоз воды на среднее расстояние 6,5 км поливочной машиной с розливом по поверхности грунта	Расчет	т	84,94	28,47	2,98	3	0,99
10	IV	Уплотнение грунта второго слоя толщиной 0,3 м самоходным катком ДУ-29А при 12 проходах по одному следу	Е2-1-31	м <sup>3</sup>	923,22	1012,66	0,912	1	0,912
11	IV	Разработка и перемещение грунта третьего слоя самоходным скрепером ДЗ-26	Е2-1-21	м <sup>3</sup>	882,44	533,33	1,65	2	0,83
12	IV	Разравнивание грунта третьего слоя бульдозером ДЗ-35С толщиной 0,3 м	Е2-1-28	м <sup>3</sup>	882,44	2105,26	0,42	1	0,42
13	IV	Подвоз воды на среднее расстояние 6,5 км поливочной машиной с розливом по поверхности грунта	Расчет	т	81,14	28,47	2,85	3	0,95
14	V	Уплотнение грунта третьего слоя толщиной 0,3 м самоходным катком ДУ-29А при 12 проходах по одному следу	Е2-1-31	м <sup>3</sup>	882,44	1012,66	0,87	1	0,87

Окончание табл. 2.22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	V	Разработка и перемещение грунта четвертого слоя самоходным скрепером ДЗ-26	E2-1-21	м <sup>3</sup>	795,5	533,33	1,49	2	0,75
16	V	Разравнивание грунта четвертого слоя бульдозером ДЗ-35С толщиной 0,3 м	E2-1-28	м <sup>3</sup>	795,5	2105,26	0,38	1	0,38
17	VI	Подвоз воды на среднее расстояние 6,5 км поливочной машиной с розливом по поверхности грунта	Расчет	т	73,18	28,47	2,57	3	0,86
18	VI	Уплотнение грунта четвертого слоя толщиной 0,3 м самоходным катком ДУ-29А при 12 проходах по одному следу	E2-1-31	м <sup>3</sup>	795,5	1012,66	0,79	1	0,79
19	VI	Окончательная планировка верха земляного полотна автогрейдером ДЗ-24С с приданием уклона	E2-1-35	м <sup>2</sup>	2387,4	29629,63	0,081	1	0,081
20	VI	Доуплотнение верха земляного полотна пневоколесным катком ДУ-29А при ширине уплотняемой полосы 2,22 м, при 12 проходах по одному следу	E2-1-31	м <sup>2</sup>	2387,4	3636,36	0,66	1	0,66
21	VI	Окончательная планировка и уплотнение откосов земляного полотна автогрейдером ДЗ-24С, катком ДУ-29А	E2-1-36	м <sup>2</sup>	1137,98	28571,43	0,04	1	0,04
22	VI	Укрепление откосов насыпи ПРС бульдозером ДЗ-35С	E2-1-28	м <sup>3</sup>	418,98	2105,26	0,199	1	0,199