

# Земляные работы

1. Общие положения;
2. Строительные свойства грунта;
3. Виды земляных сооружений;
4. Процессы при производстве земляных работ.
5. Способы разработки грунта;
6. Механический способ разработки грунта.
  - 6.1. Разработка грунта одноковшовыми экскаваторами (ЭО);
  - 6.2. Экскаватор с рабочим оборудованием «драглайн»;
  - 6.3. Экскаватор с рабочим оборудованием «грейфер»;
  - 6.4. Разработка грунта одноковшовым экскаватором с обратной лопатой

# Земляные работы.

## 1. Общие положения

Производство строительного-монтажных работ и, в первую очередь, возведение подземной части зданий и сооружений, сопряжено с выполнением значительных объёмов земляных работ. Земляные работы относят к наиболее тяжёлым и трудоёмким видам строительных работ, выполняемым в сложных условиях и в значительной степени зависящих от природно-климатических факторов. Поэтому одной из задач, стоящих перед проектировщиками, технологами, строителями является разработка и реализация методов и технологий, способствующих сокращению объёмов земляных работ на строительной площадке. К их числу относятся: совершенствование конструкций земляных сооружений, применение свайных фундаментов, рациональное использование рельефа местности, устройство котлованов и траншей с вертикальными стенками, минимизация объёмов перевалок и перегрузок грунта, бестраншейная прокладка коммуникаций, повышение строительных свойств грунта (закрепление, армирование, и др.). Этим целям служит также совершенствование средств механизации земляных работ, применение машин и сменного рабочего оборудования, позволяющих обеспечить проектную геометрию земляного сооружения. Земляные работы характеризуются значительной стоимостью и трудоёмкостью, например, в промышленном строительстве они составляют около 15 % стоимости и 18...20 % трудоёмкости общего объёма работ.

## 2. Строительные свойства грунта

По своему строению грунты можно разделить на

**сцементированные  
(или скальные).**

Скальные грунты из каменных горных пород, с трудом поддаются разработке взрыванием или дроблением.

**несцементированные.**

Скелет несцементированных грунтов обычно состоит из песчаных, пылеватых и глинистых частиц, в зависимости от содержания которых грунты называются:

**песок**

**супесь (супесок)**

**глина**

В зависимости от содержания глинистых частиц глину называют:

**тощей**

**жирной**

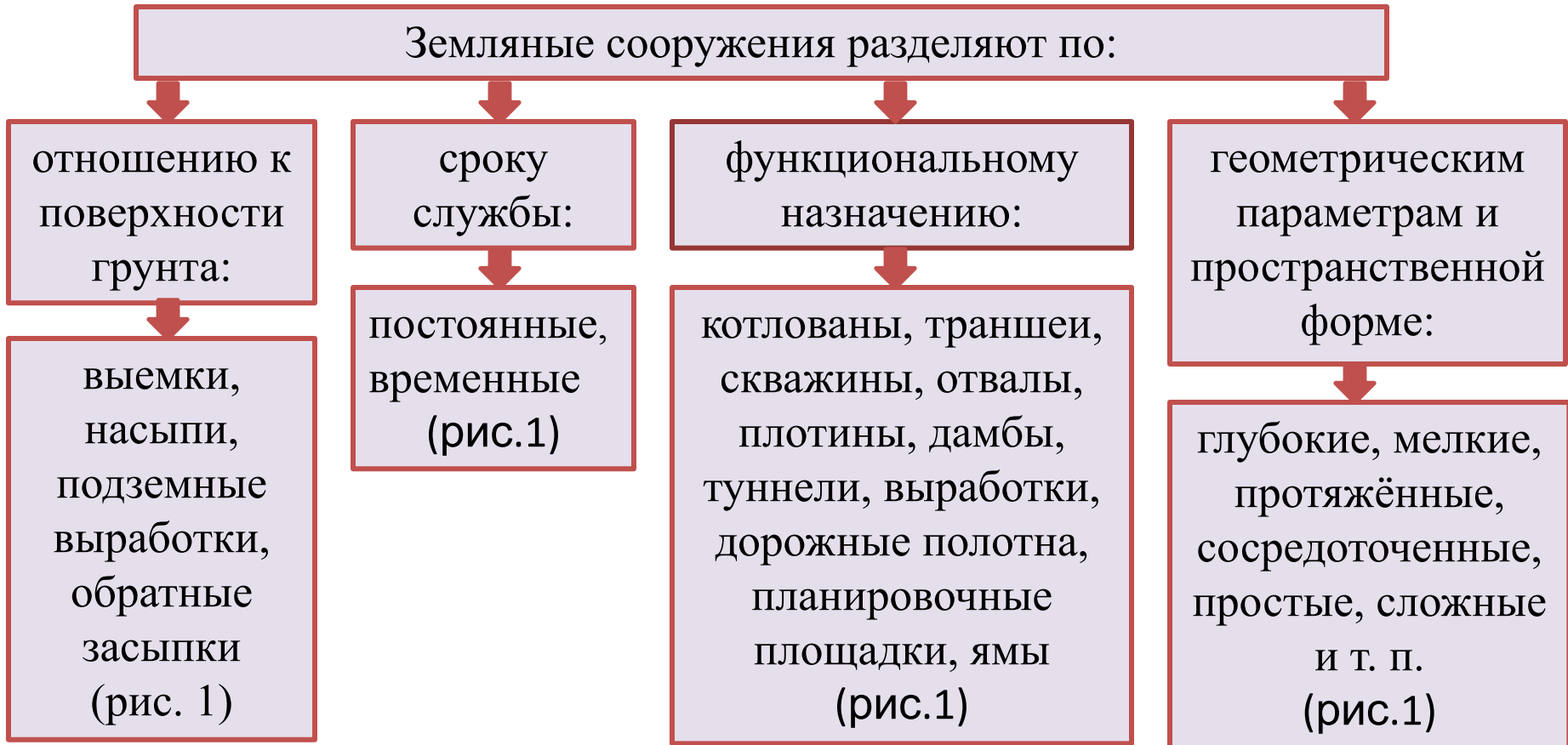
В зависимости от трудоёмкости разработки глину называют:

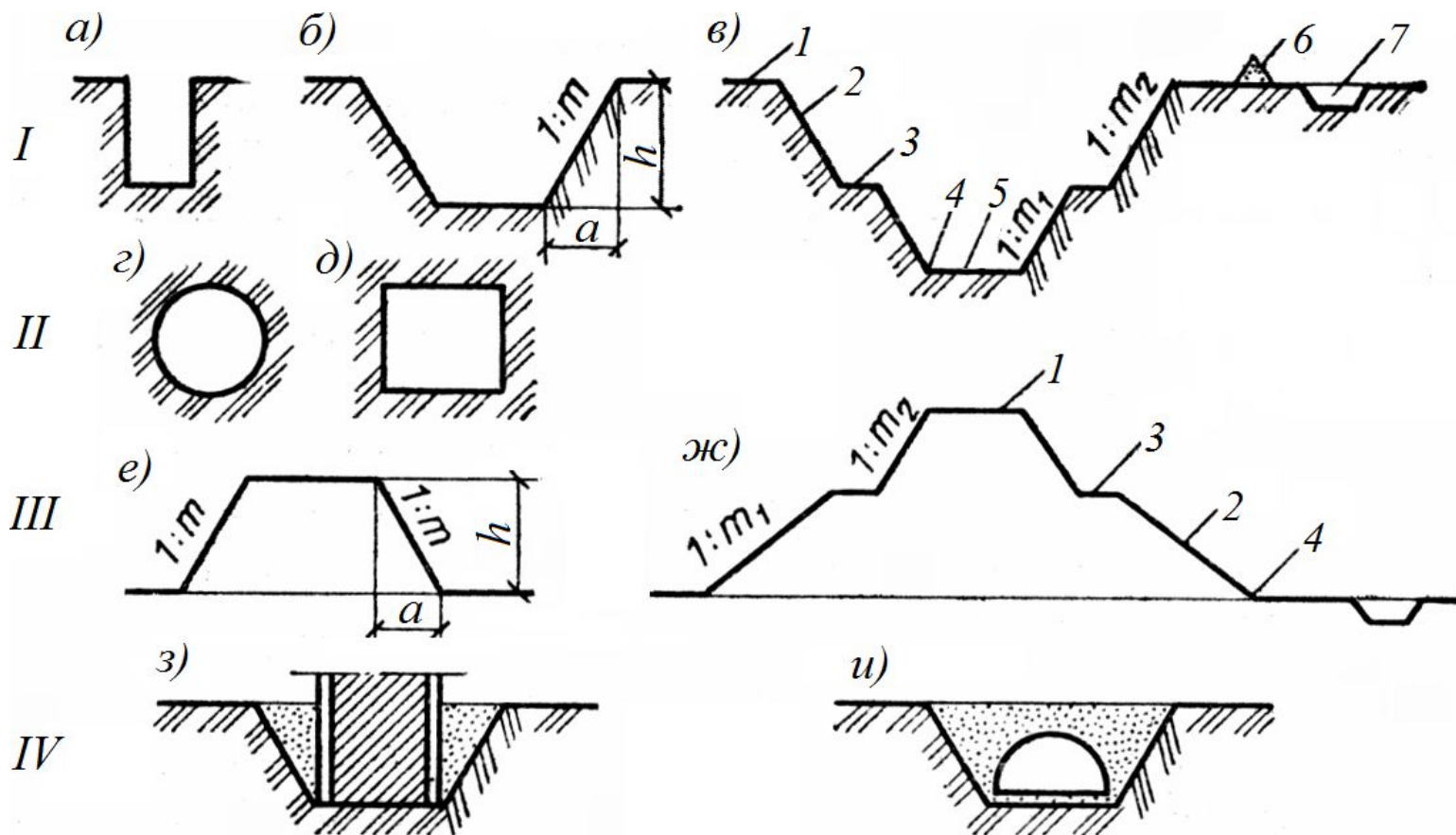
**лёгкой**

**тяжёлой**

**ломовой**  
(особо трудоёмкая для разработки)

### 3. Виды земляных сооружений





*I* – поперечный профиль выемок: *a* – траншея прямоугольного профиля; *б* – котлован (траншея) трапецеидальной формы; *в* – профиль постоянной выемки;

*II* – сечения подземных выработок: *г* – круглой; *д* – прямоугольной;

*III* – профили насыпи: *е* – временной; *ж* – постоянной;

*IV* – обратная засыпка: *з* – пазух котлована; *и* – траншеи;

*1* – бровка откоса; *2* – откос; *3* – берма; *4* – основание откоса; *5* – дно выемки; *6* – банкет; *7* – нагорная канава

Рис. 1. Виды земляных сооружений

Все земляные сооружения, показанные на рис. 1, создают путём образования выемок в грунте или возведения из него насыпей.

Выемки и насыпи могут быть **временными** и **постоянными**. Например, траншея для трубопровода является временной выемкой, так как будет засыпана после укладки в неё трубопровода. Котлован же под зданием с подвалом является постоянной выемкой, он будет существовать в течение всего времени эксплуатации сооружения.

Временные выемки шириной более 3 м называют **котлованами**, более узкие выемки для ленточных фундаментов или сетей коммуникаций – **траншеями**, выемки под отдельно стоящие фундаменты или столбы - **ямами**. Выемки, закрытые с поверхности земли и устраиваемые для прокладки транспортных и коммуникационных туннелей называют **подземными выработками**. Выемки имеют дно и наклонные откосы, после устройства подземных сооружений выполняется обратная засыпка пазух – заполнение грунтом пространства между сооружением и откосами котлована.

Для обеспечения устойчивости земляных сооружений (насыпей, выемок) их возводят с откосами, крутизна которых определяется отношением высоты к заложению:  $h/a = 1/m$ , где  $m$  – коэффициент откоса. СНиПами установлены значения крутизны откосов для постоянных и временных земляных сооружений.

## 4. Процессы при производстве земляных работ

В состав работ по возведению земляных сооружений входят процессы:

подготовительные —

относят работы по ограждению участка строительства, очистке территории, сносу зданий и сооружений, снятию растительного слоя грунта, разбивка земляных сооружений, водоотлив и понижение уровня грунтовых вод, создание искусственных противофильтрационных завес и экранов. Состав подготовительных работ в значительной степени зависит от местных условий.

вспомогательные —

относят работы по искусственному закреплению грунта, временного крепления котлованов и траншей.

основные —

работы в комплексном процессе по возведению земляных сооружений являются рыхление, разработка и транспортирование грунта, отсыпка его и уплотнение, подчистка дна котлованов и траншей, отделка откосов насыпей.

## 5. Способы разработки грунта

Земляные работы, в зависимости от строительных свойств грунта, осуществляют следующими способами

### механическим

заключается в разработке грунта землеройными (одноковшовыми многоковшовыми экскаваторами) и землеройно-транспортными (бульдозерами, скреперами, грейдерами, грейдерами-элеваторами) машинами.

В строительстве этим способом выполняется 80...85 % земляных работ.

### гидромеханическим

состоит в разработке грунта напорной водяной струёй гидромониторных установок или всасывании грунта со дна водоёмов плавучими землесосными снарядами.

### взрывным

основан на использовании силы взрывной волны различных взрывчатых веществ, заложенных в специально устроенные шпуры, скважины или шурфы, и является одним из эффективных средств механизации трудоёмких и тяжёлых работ.

### комбинированным

представляет сочетание указанных предыдущих способов и зависит от условий разработки. Наиболее часто применяют сочетание механического способа с гидромеханическим или взрывным.



## 6. Механический способ разработки грунта

Основным способом выполнения земляных работ является механизированная переработка грунта. Грунт разрабатывается, перемещается, укладывается, разравнивается, уплотняется с помощью землеройных и землеройно-транспортных машин, оснащённых соответствующим рабочим оборудованием. Выбор количества, типов и марок машин зависит от пространственной формы и геометрических параметров земляных сооружений, грунтовых и гидрологических условий строительной площадки, проектных сроков производства работ.

Производство земляных работ в общем случае состоит из трёх процессов: разработка выемки (является ведущим процессом разработки грунта), транспортирование грунта, отсыпка насыпи.

При механическом способе разработки действуют усилия резания или скалывания грунта рабочими органами различных машин. В результате определённые порции грунта отделяются от массива и могут быть перемещены.

## При разработке способом резания применяют машины

**землеройные:**  
экскаваторы,  
канавокопатели  
отрывают грунт  
ножом ковша,  
отсыпают его в  
отвал или бунке-  
ры транспорта,  
располагаемые в  
непосредствен-  
ной близости от  
землеройной ма-  
шины

**землеройно-  
транспортные**  
скреперы и бульдозе-  
ры предназначены для  
разработки грунта в  
выемке, транспорти-  
рования его и отсыпки  
в насыпи. Эти маши-  
ны обеспечивают пол-  
ную механизацию все-  
го комплексного про-  
цесса производства.

**землеройно-  
планировочные:**  
прицепные и само-  
ходные грейдеры и  
бульдозеры пред-  
назначены для раз-  
работки, переме-  
щения и планиро-  
вания грунта.

В зависимости от выполняемых технологических процессов машины для земляных работ можно разделить на следующие группы:

→ экскаваторы

→ землеройно-транспортные машины

→ погрузчики

→ машины для уплотнения грунта

→ машины и оборудование для разработки мерзлых грунтов

→ машины и оборудование для подготовительных работ

→ машины и оборудование для бурения скважин

→ машины для гидромеханической разработки грунта

→ машины для транспортировки грунта

Эффективной формой механизированного способа производства земляных работ является комплексная механизация. Основным принципом комплексной механизации заключается в том, что все машины, занятые на выполнении процессов и операций, должны соответствовать друг другу своими технико-экономическими и технологическими параметрами. В этом случае вводится понятие комплекта (системы) машин, а весь производственный процесс называют **комплексно-механизированным технологическим процессом** производства земляных работ.

Примерно 97 % всех работ при устройстве земляных сооружений комплексно механизированы, т. е. при выполнении процесса полностью исключается ручной труд. В качестве примера, на рис. 2 приведены схемы комплексной механизации работ при отсыпке тела земляной плотины.

Грунт разрабатывается в карьере экскаватором транспортируется на расстояние  $L$ , разгружается после подъёма кузова, разравнивается бульдозерами с погрузкой в автосамосвалы (рис. 2, *а*), и уплотняется катками (рис. 2, *б*, *в*).

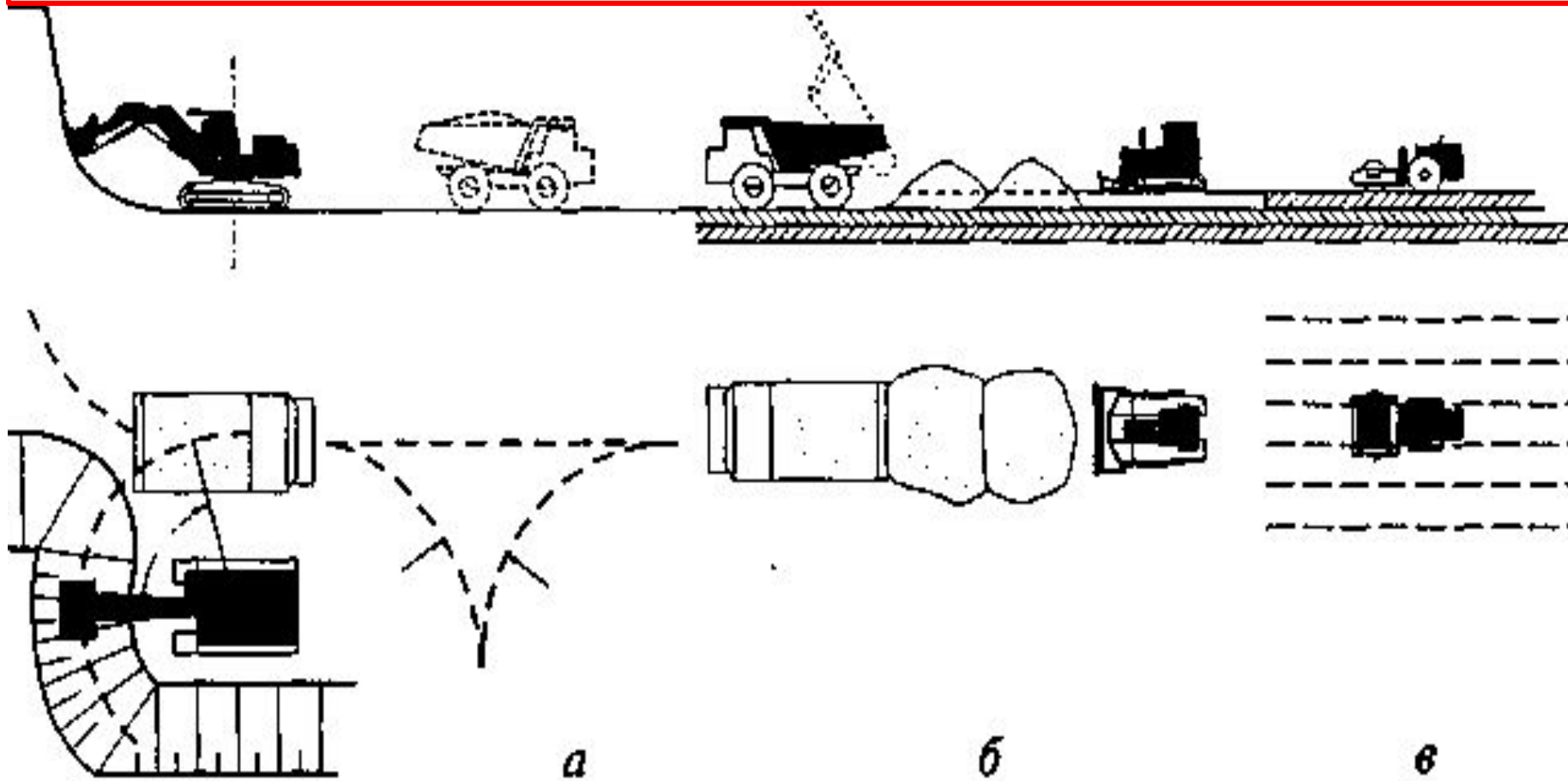


Рис. 2. Схемы комплексной механизации земляных работ: *а* – разработка и транспортирование; *б* – разгрузка и разравнивание; *в* – уплотнение

## 6. Разработка грунта одноковшовыми экскаваторами (ЭО)

циклического действия. Главный параметр ЭО - вместимость ковша, м<sup>3</sup>. Основные технологические параметры: глубина (высота) копания, максимальный радиус копания, высота погрузки. В различных отраслях промышленности (угольная, горнодобывающая) применяют одноковшовые экскаваторы с вместимостью ковша до 100 м<sup>3</sup>. В строительстве работают экскаваторы восьми размерных групп, имеющие вместимость ковша 0,15...4,0 м<sup>3</sup>. Наибольшее распространение находят экскаваторы 4-й и 5-й групп (вместимость ковша 0,65 и 1 м<sup>3</sup>) (Рис. 3, 4). На ряде моделей устанавливаются устройства, автоматизирующие отдельные операции рабочего процесса экскаватора. При помощи традиционного оборудования (обратная лопата (см рис. 3, 4), прямая лопата (рис. 5), драглайн (рис. 6), грейфер (рис. 7)) одноковшовый экскаватор может быть использован на механизации следующих процессов переработки грунта, входящих в состав комплексного технологического процесса: разработка и укладка грунта в земляных сооружениях различных типов; погрузка грунта; перемещение грунта в пределах земляного сооружения. Большинство одноковшовых строительных экскаваторов - это универсальные машины, которые могут быть оснащены различными видами сменного рабочего оборудования. В последние годы в связи с широким распространением гидропривода универсальность одноковшового



Рис. 3. Экскаватор гидравлический с обратной лопатой на пневмоколесном ходу

Рис. 4. Экскаватор гидравлический с обратной лопатой на гусеничном ходу





Рис. 5. Экскаватор гидравлический с прямой лопатой на гусеничном ходу





Рис. 6. Драглайна

Рис. 7. Грейфер



Современный гидравлический экскаватор может быть оснащен более чем десятью видами рабочего оборудования, которые значительно расширяют его технологические возможности.

Использование сменного рабочего оборудования дает возможность механизировать такие процессы, как: зачистка дна выемок; дробление и удаление негабаритов и валунов; отделка поверхности откосов земляного сооружения, дна выемок; послойное уплотнение грунта в стесненных условиях, при устройстве обратных засыпок; рыхление мерзлого и труднорабатываемого грунта.

Строительные экскаваторы выпускают на пневмоколесном и гусеничном ходу. Наиболее распространенными видами рабочего оборудования являются обратная и прямая лопаты, драглайн и грейфер.

Для погрузки ранее разработанного грунта, снятия верхнего слоя и для планировочных работ применяют погрузочное оборудование.

Повышению качества, сокращению ручного труда при выполнении зачистных и планировочных работ способствует использование планировочного оборудования, в том числе в сочетании с телескопической стрелой.

Для разработок выемок различных очертаний и габаритов могут применяться профильные ковши.

Расширению области применения экскаваторов, в том числе при разработке труднорабатываемых и мерзлых грунтов, способствует установка рыхлительного оборудования: зубарыхлителя и гидромолота. Этим же целям служит и захватно-клещевое оборудование, устанавливаемое на гидравлическом экскаваторе. При помощи захватно-клещевого устройства можно также захватывать, грузить в транспорт или удалять в сторону крупные камни, негабариты, встречающиеся на площадке, где ведутся земляные работы.

Применению экскаваторов в условиях реконструкции объектов, работе в цехах, вблизи стен и фундаментов служит оборудование для работы в стесненных условиях. Шарнирное сочленение основных элементов рабочего оборудования как в вертикальной, так и горизонтальной плоскости позволяет приспособливаться к конкретным условиям производства работ.

Одноковшовый экскаватор – машина **циклического действия**, процесс разработки грунта при любом виде рабочего оборудования складывается из чередующихся в определенной последовательности операций отдельного цикла:

- 1) резание грунта и заполнение ковша;
- 2) подъем ковша с грунтом;
- 3) поворот экскаватора вокруг оси к месту выгрузки;
- 4) выгрузка грунта из ковша;

Основное назначение экскаваторов - разработка выемок, резервов, карьеров, траншей, котлованов с разгрузкой грунта в отвал или погрузкой в транспортные средства.

Предельные размеры выемок, которые могут быть разработаны одноковшовым экскаватором с одной стоянки, зависят от его рабочих параметров. Рабочими параметрами одноковшовых экскаваторов при разработке выемок являются (рис. 8, 9, 10, 11):

максимально возможная высота копания +  $H$  (для экскаватора прямая лопата) - знак + показывает, что экскаватор копает выше своей стоянки;

глубина копания (резания) -  $H$  (для других типов экскаваторов);

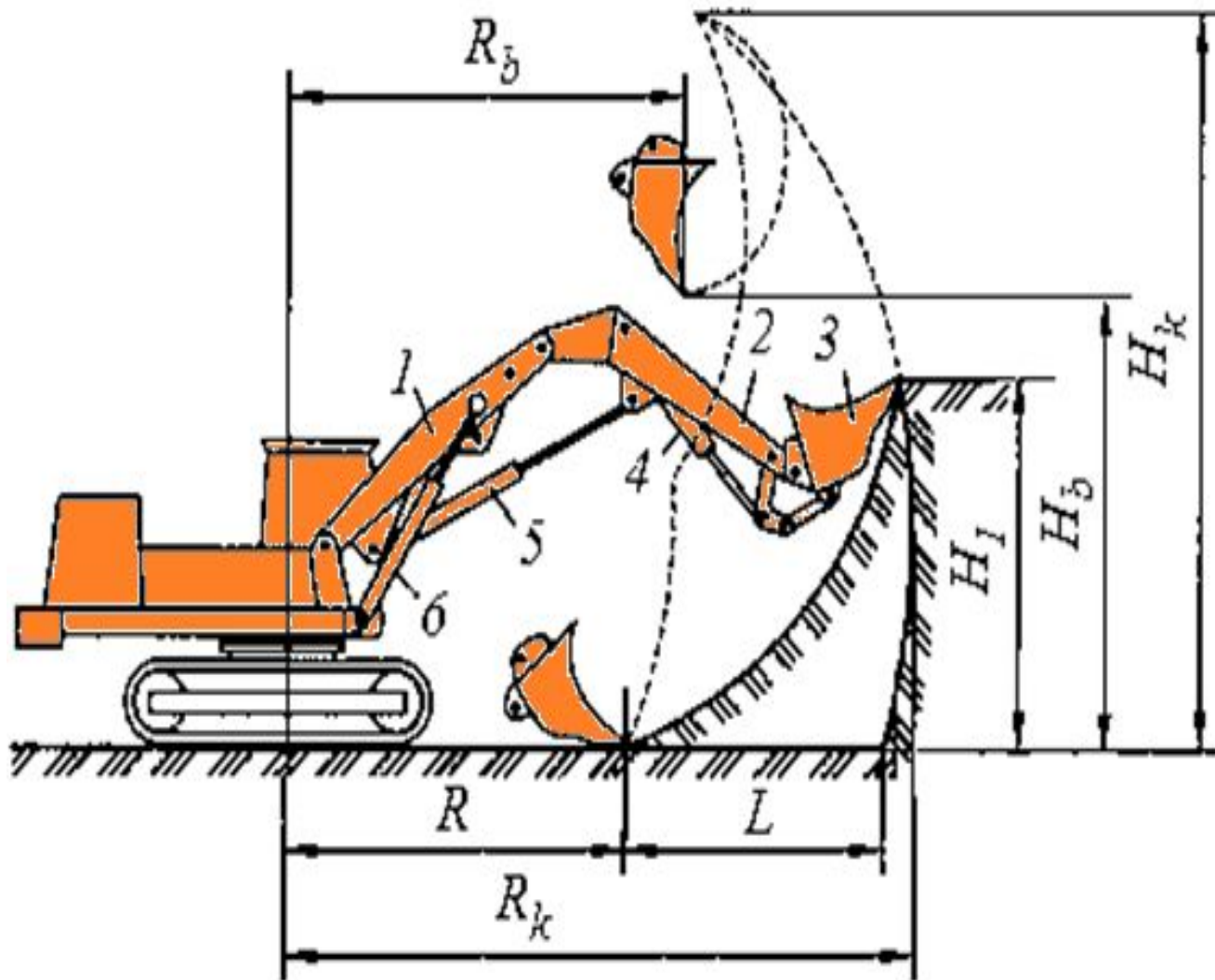
наибольший и наименьший радиусы копания на уровне стоянки экскаватора  $R_{max}$  и  $R_{min}$ ;

радиус выгрузки  $R_{г'}$ ;

высота выгрузки  $H_{в}$ .

Разработку грунта одноковшовыми экскаваторами ведут позиционно. Рабочая площадка экскаватора называется забоем.

**Забой** - рабочая зона экскаватора, включающая площадку, где расположен экскаватор; часть разрабатываемого массива грунта; места установки транспортных средств; площадку для укладки разрабатываемого грунта (при работе в отвал). По окончании разработки грунта в данном забое экскаватор перемещается на новую позицию.



- 1 – стрела,
- 2 – рукоять,
- 3 – ковш,
- 4, 5, 6 – гидроцилиндры

Рис. 8. Схема рабочих параметров гидравлического экскаватора с прямой лопатой и профиля забоя

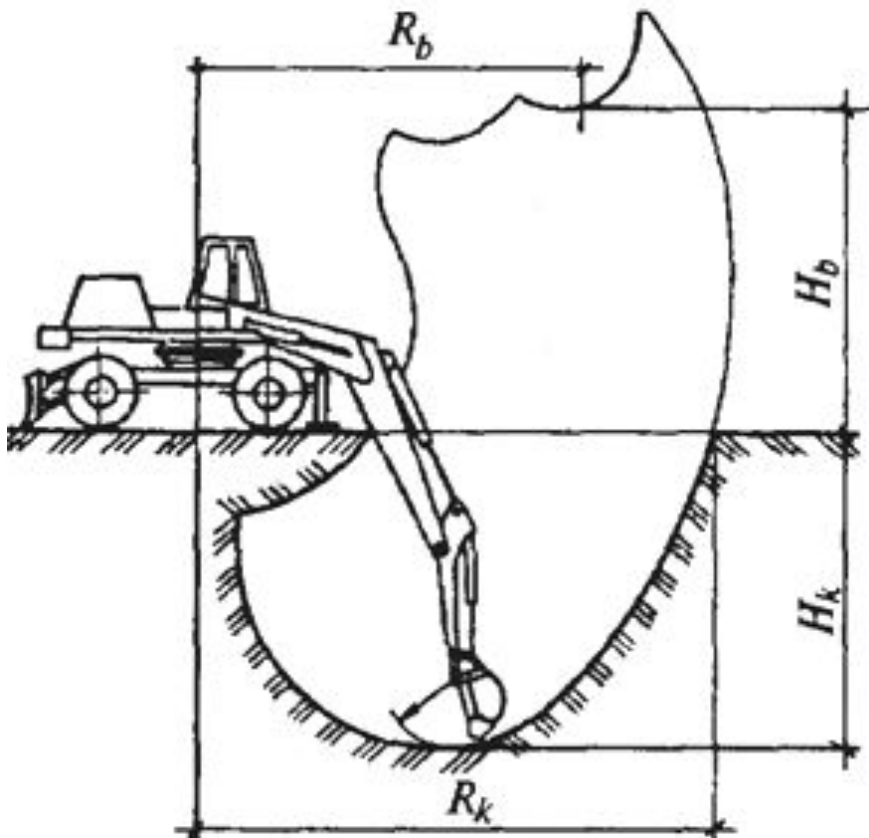


Рис. 9. Схема рабочих параметров гидравлического экскаватора с обратной лопатой и профиля забоя



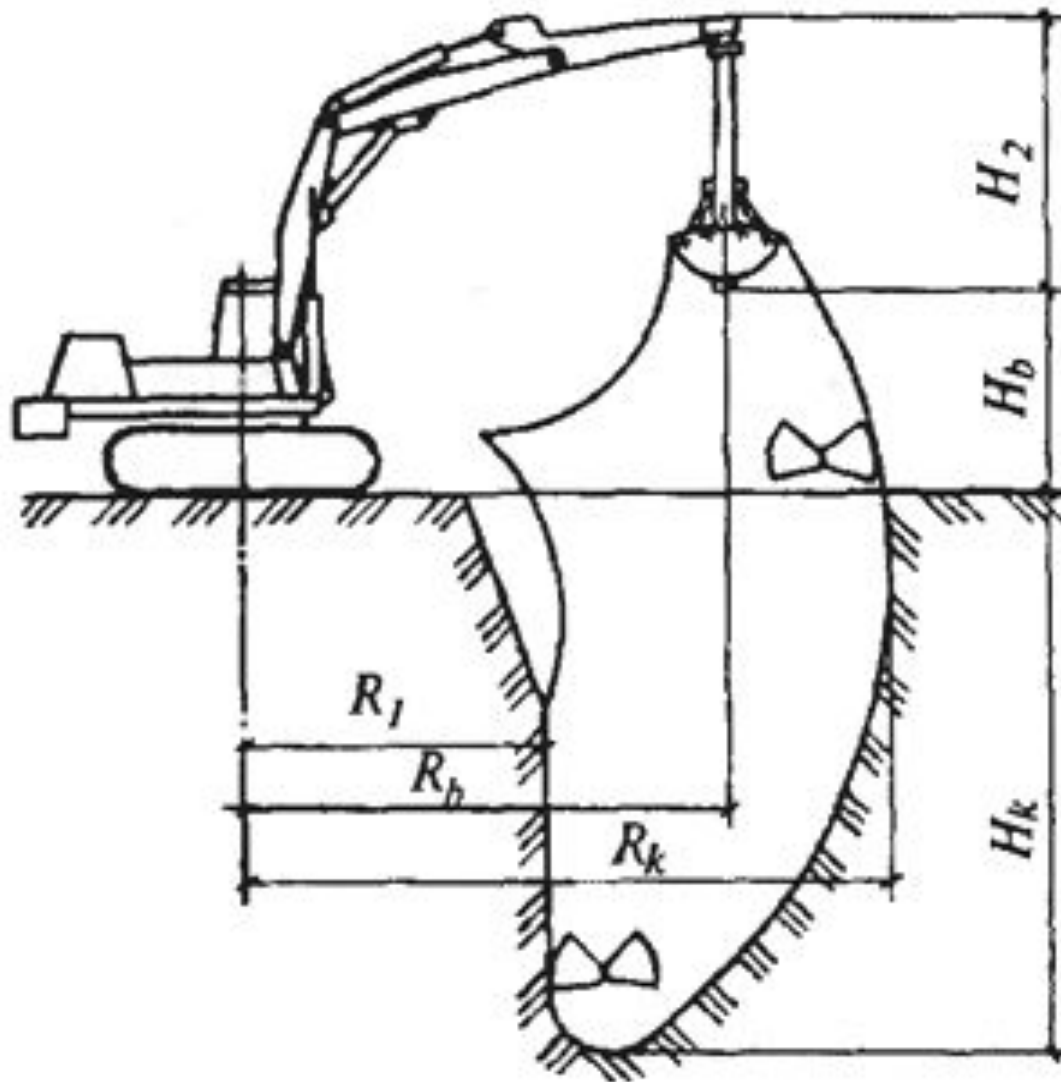


Рис. 10. Схема рабочих параметров грейфера и профиля забоя



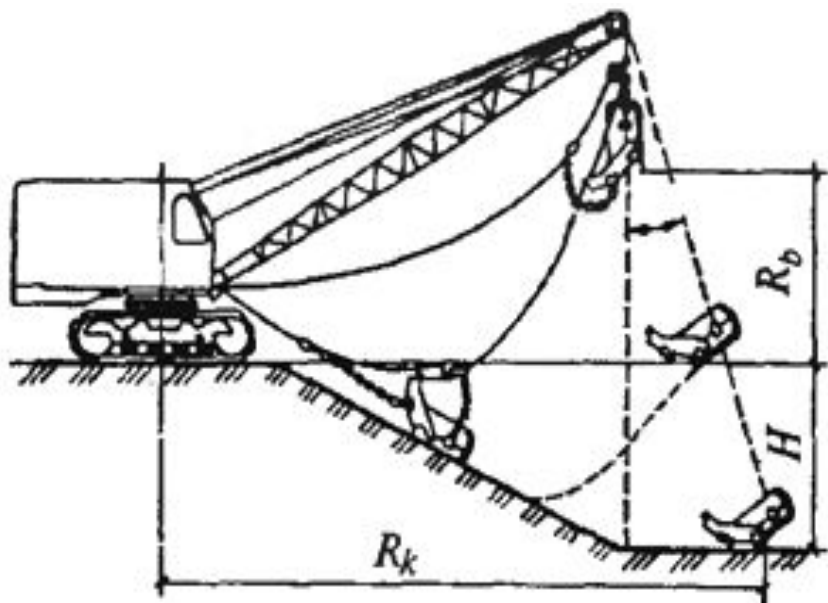
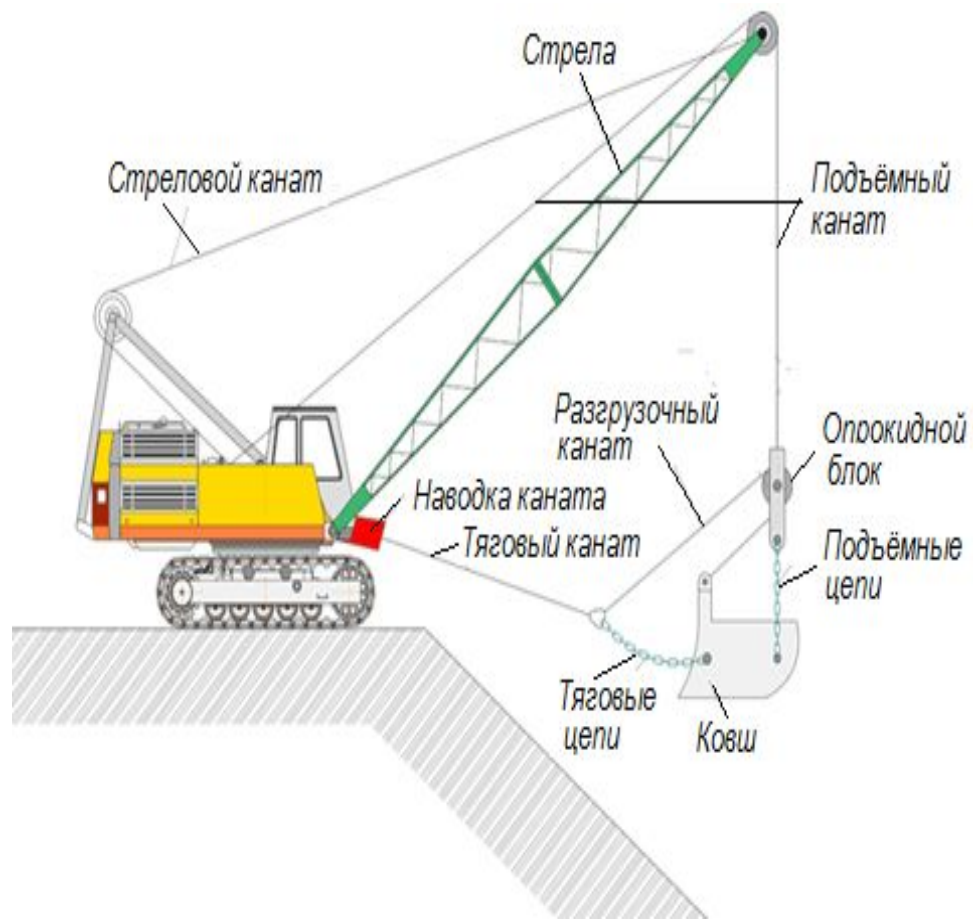


Рис. 11. Схема рабочих параметров драглайна и профиля забоя



Экскаватор и транспортные средства должны быть расположены в забое таким образом, чтобы среднее значение угла поворота экскаватора от места заполнения ковша до места его выгрузки было минимальным, так как поворот стрелы осуществляется дважды - с грузом до транспортного средства и после выгрузки, то время поворота в среднем составляет до 70% рабочего времени одного цикла экскаватора.

В зависимости от условий строительной площадки выбор экскаватора начинают с определения наиболее целесообразных вместимости ковша и типа экскаватора, а также требуемых параметров - длины стрелы, радиуса резания, выгрузки и др. Выбор сменного оборудования экскаватора зависит от уровня грунтовых вод и характера разрабатываемой выемки (траншея, узкий или широкий котлован).

**Экскаватор «прямая лопата»** используют для разработки грунтов, расположенных выше уровня стоянки экскаватора, преимущественно с погрузкой на транспорт. Его широко применяют в карьерах, в строительстве используют для погрузки в транспортные средства ранее собранного в кучи (сгуртованного)

грунта или для отрывки котлованов при этом устраивается самим

Прямая лопата представляет собой открытый сверху ковш с режущим передним краем. Ковш шарнирно соединен с рукоятью, которая, в свою очередь, шарнирно соединена со стрелой машины и выдвигается вперед при помощи напорного механизма. Конструкция экскаватора позволяет ему копать ниже уровня своей стоянки не более чем на 10...20 см, нормативная производительность может быть достигнута при высоте забоя не менее 1,5 м. Опорожняется ковш путем открытия его днища. Такая конструкция прямой лопаты обеспечивает ей наибольшую производительность за счет наполнения ковша «с шапкой». При разработке грунтов 1-й и 2-й групп экскаватор может быть снабжен ковшом увеличенного объема. Экскаватор применяется в основном при необходимости погрузки грунта в транспортные средства.

Разработку грунта экскаватором «прямая лопата» производят лобовым и боковым забоями. **Лобовой забой** применяют при разработке экскаватором грунта впереди себя и отгрузке его на транспортные средства, которые подаются к экскаватору по дну забоя или сбоку по естественной поверхности земли. В первом случае автомобили подходят задним ходом попеременно то с одной, то с другой стороны забоя. При таких условиях работы угол поворота экскаватора достигает 140...180°, что значительно снижает его производительность. По этим причинам лобовой забой принимают крайне редко, в основном при устройстве въездного пандуса в котлован

При узких забоях до  $1,5 R_{рез}$  (рис. 12, *а*) самосвалы подают с одной стороны сзади экскаватора, а при нормальных (рис. 12, *б*) – с обеих сторон экскаватора попеременно, что исключает простои экскаватора при смене транспортных единиц. Экскаватор перемещается прямолинейно по оси забоя.

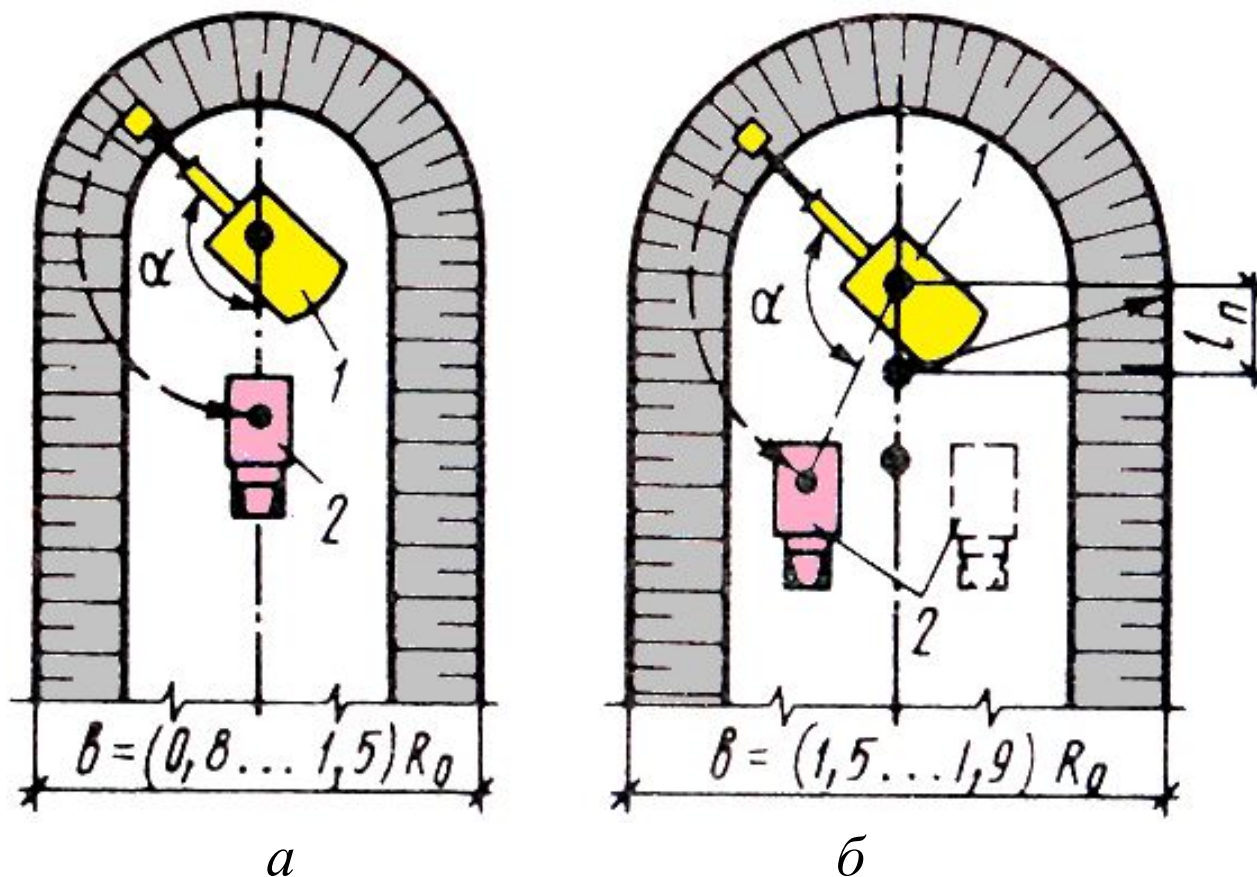


Рис. 12. Схемы проходок экскаватора с рабочим оборудованием «прямая лопата»:  
*а* – лобовая проходка; *б* – то же, с двусторонним расположением транспорта;  
*1* – экскаватор, *2* – самосвал

Применяют разработку грунта уширенным забоем с перемещением экскаватора по зигзагу (рис. 13). При этом способе сокращаются холостые проходы экскаватора и облегчаются условия маневрирования автосамосвалов.

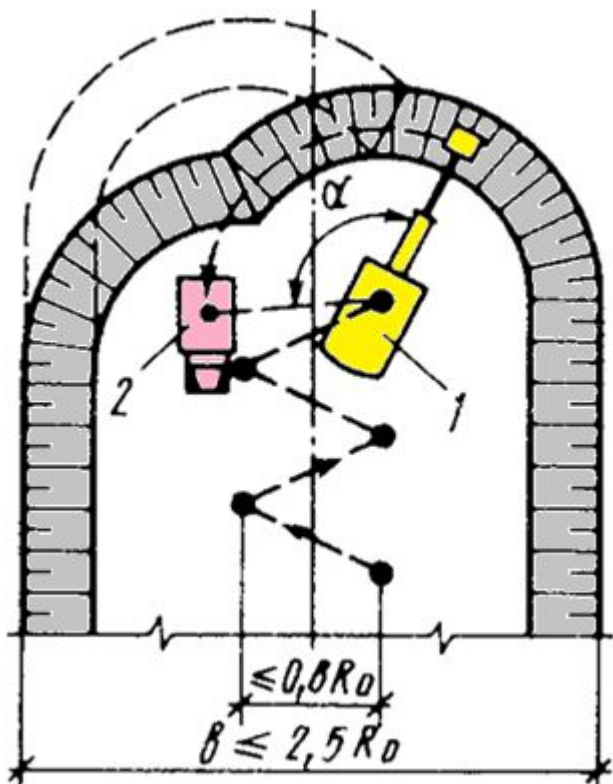


Рис. 13. Схема уширенной проходки экскаватора с рабочим оборудованием «прямая лопата» по зигзагу: 1 – экскаватор, 2 – самосвал

Ширина лобовых проходок:

для лобовой прямолинейной  $B = 2\sqrt{R_0^2 - l_{II}^2}$ ;

для зигзагообразной  $B = 2\sqrt{R_0^2 - l_{II}^2} + 2R_C$ ,

где  $R_0$  – оптимальный радиус резания экскаватора;  $l_{II}$  – длина рабочей передвижки экскаватора (разность между максимальным и минимальным радиусами резания);  $R_C$  – радиус резания на уровне стоянки.

Разработка выемок способом лобового забоя затрудняет работу транспорта. Кроме того, средний угол поворота платформы экскаватора для погрузки грунта в транспортные средства, особенно при работе в узких забоях, может достичь  $180^\circ$ , что увеличивает время рабочего цикла и снижает производительность экскаватора. Поэтому способ лобового забоя используют ограниченно.

Более эффективным является разработка грунта способом бокового забоя (рис. 14), когда экскаватор черпает грунт преимущественно с одной стороны перемещения и частично впереди себя.

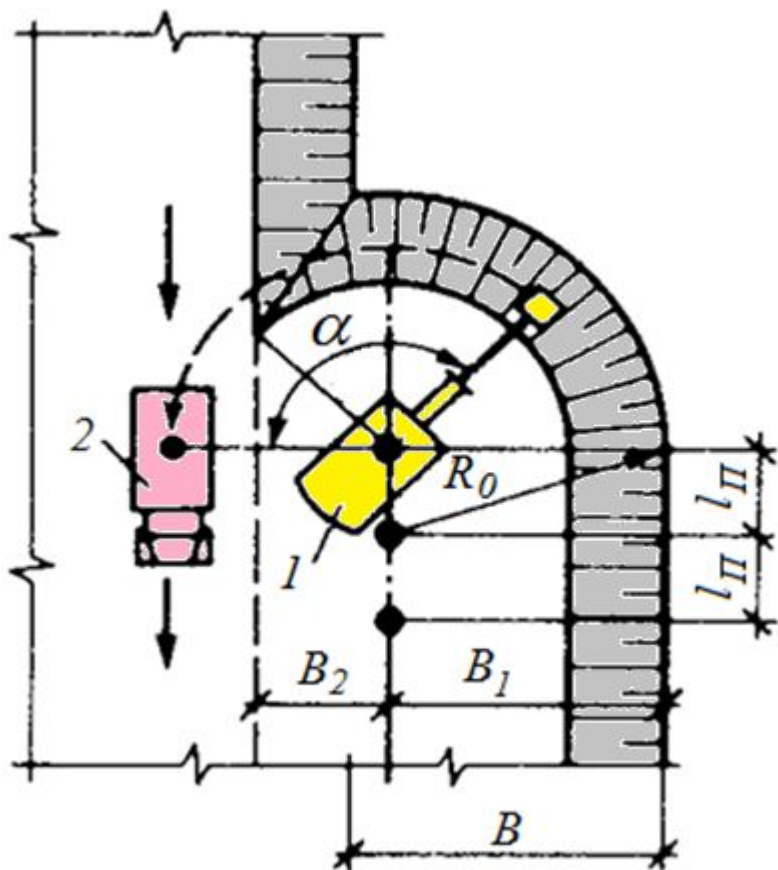


Рис. 14. Схема боковой проходки экскаватора с рабочим оборудованием «прямая лопата»:

1 – экскаватор, 2 – самосвал

По этой схеме транспорт подаётся под погрузку сбоку выработки, чем достигается значительное уменьшение угла поворота стрелы экскаватора при погрузке грунта в транспортные средства. В боковых забоях транспортные пути проходят параллельно оси перемещения экскаватора и, как правило, на уровне его стоянки.

Ширина боковой проходки

$$B = 2\sqrt{R_0^2 - l_{\text{П}}^2} + 0,7R_0.$$

Выемки, глубина которых превышает максимальную высоту забоя для данного типа экскаватора, разрабатывают в несколько ярусов (рис. 15).

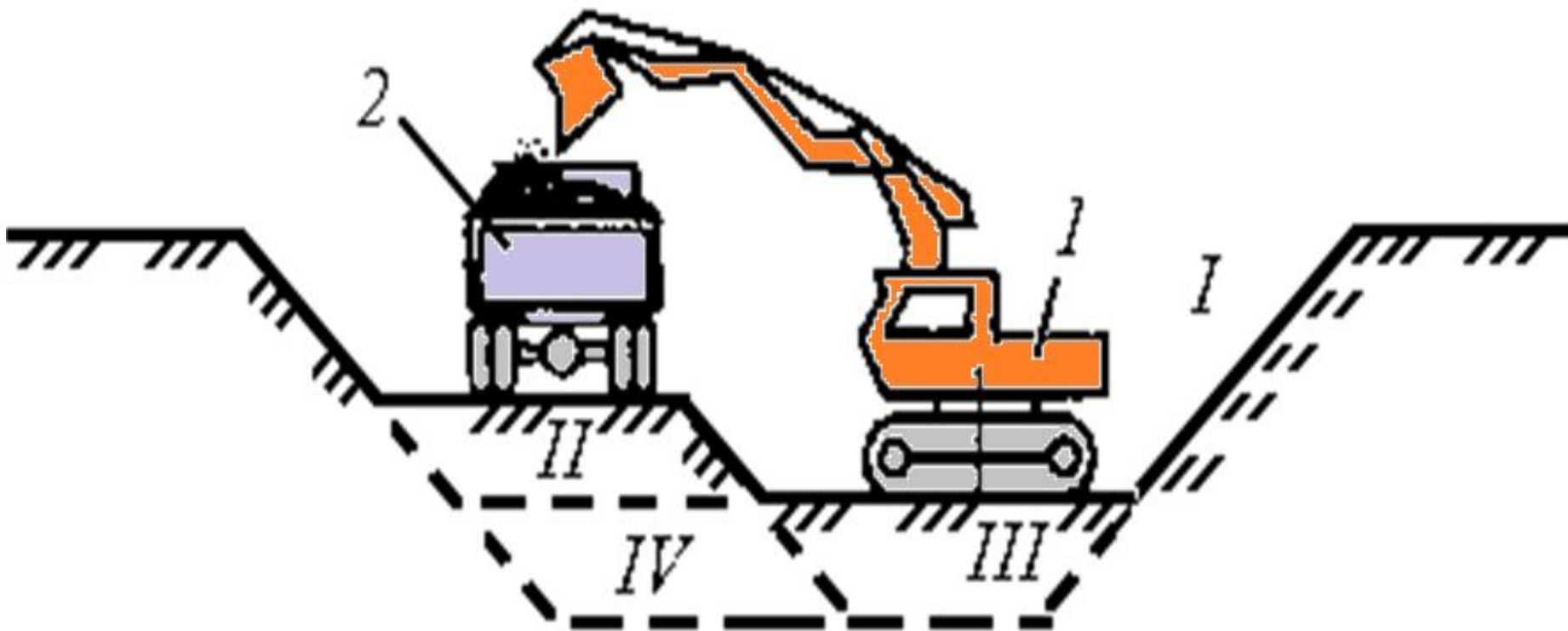


Рис. 15. Схема разработки котлована по ярусам экскаватором с рабочим оборудованием «прямая лопата»:

*I, II, III, IV* – ярусы разработки;

*1* – экскаватор,

*2* – самосвал

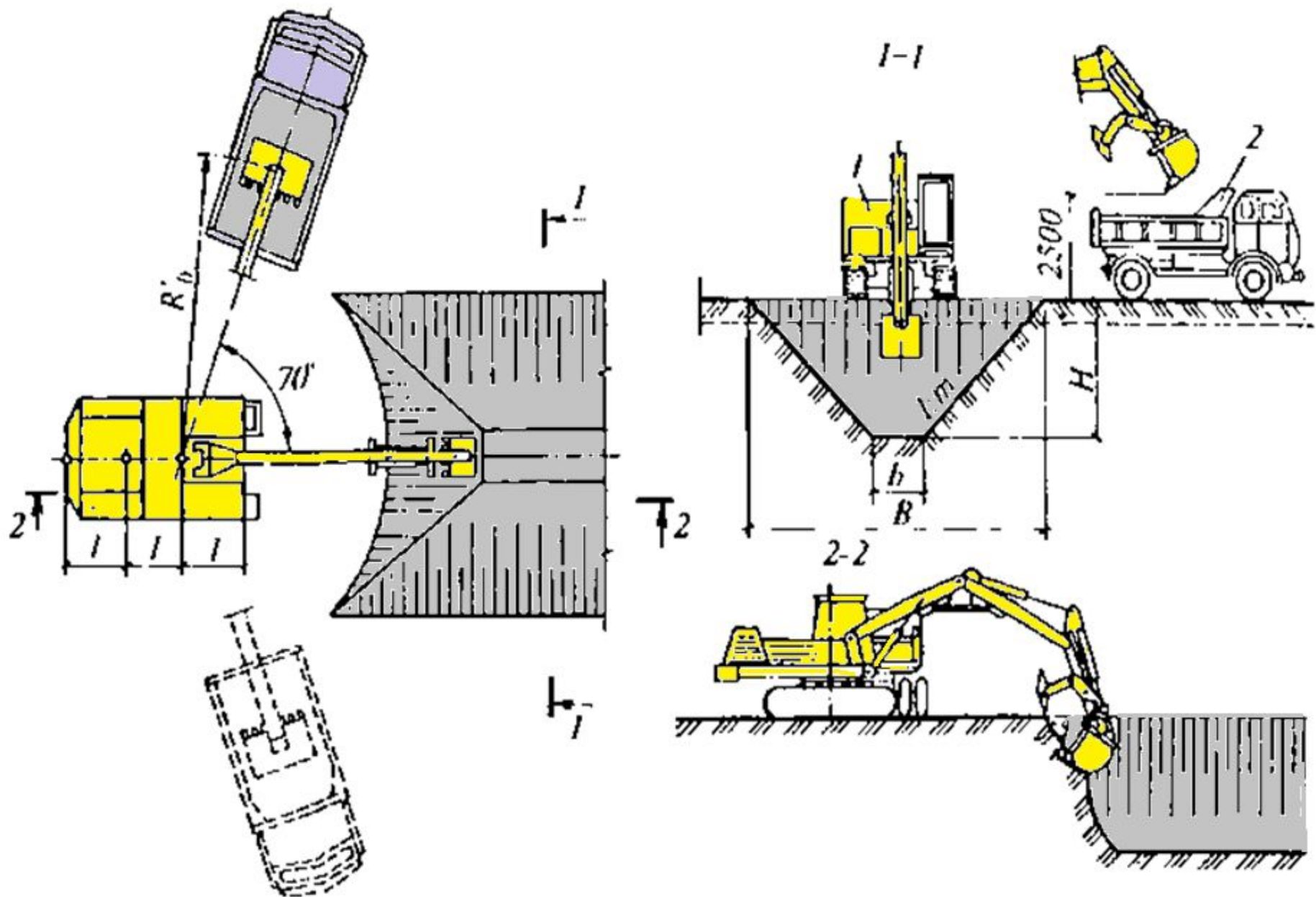


Рис. 16. Технологическая схема разработки выемок обратной лопатой



## 6.2. Экскаватор с рабочим оборудованием «драглайн»

Применяют для разработки грунтов, расположенных ниже уровня стоянки экскаватора: для рытья глубоких котлованов, широких траншей, возведения насыпей, разработки грунта из-под воды и т. п. Их применяют также для отделочных земляных работ при планировке площадей и зачистке откосов. Преимуществами драглайна являются большие радиусы действия (10 м) и глубина копания (12 м). Особенно эффективно разрабатывать драглайном мягкие и плотные грунты, в том числе обводнённые.

Разработку грунта драглайном осуществляют лобовыми и боковыми проходками аналогично экскаватору «обратная лопата». Драглайн обычно передвигается между очередными стоянками на  $1/5$  длины стрелы. В зависимости от ширины выемки, способа разгрузки грунта (в отвал или в транспортные средства) и особенностей земляного сооружения в практике используют разнообразные схемы лобового и бокового способов разработки грунта.

Так как ковш драглайна гибко подвешен, весьма эффективными являются челночные способы работы – поперечно-челночный и продольно-челночный (рис. 17). При поперечно-челночном способе автосамосвал по дну выемки подходит к месту загрузки и загружается попеременным черпанием ковша по обе стороны от кузова. При продольно-челночном способе грунт набирают перед задней стенкой кузова автосамосвала и, подняв ковш, разгружают его над кузовом. Угол поворота экскаватора при погрузке по продольно-челночной схеме приближается к  $0^\circ$ , а при поперечно-челночной – к  $15... 20^\circ$ .

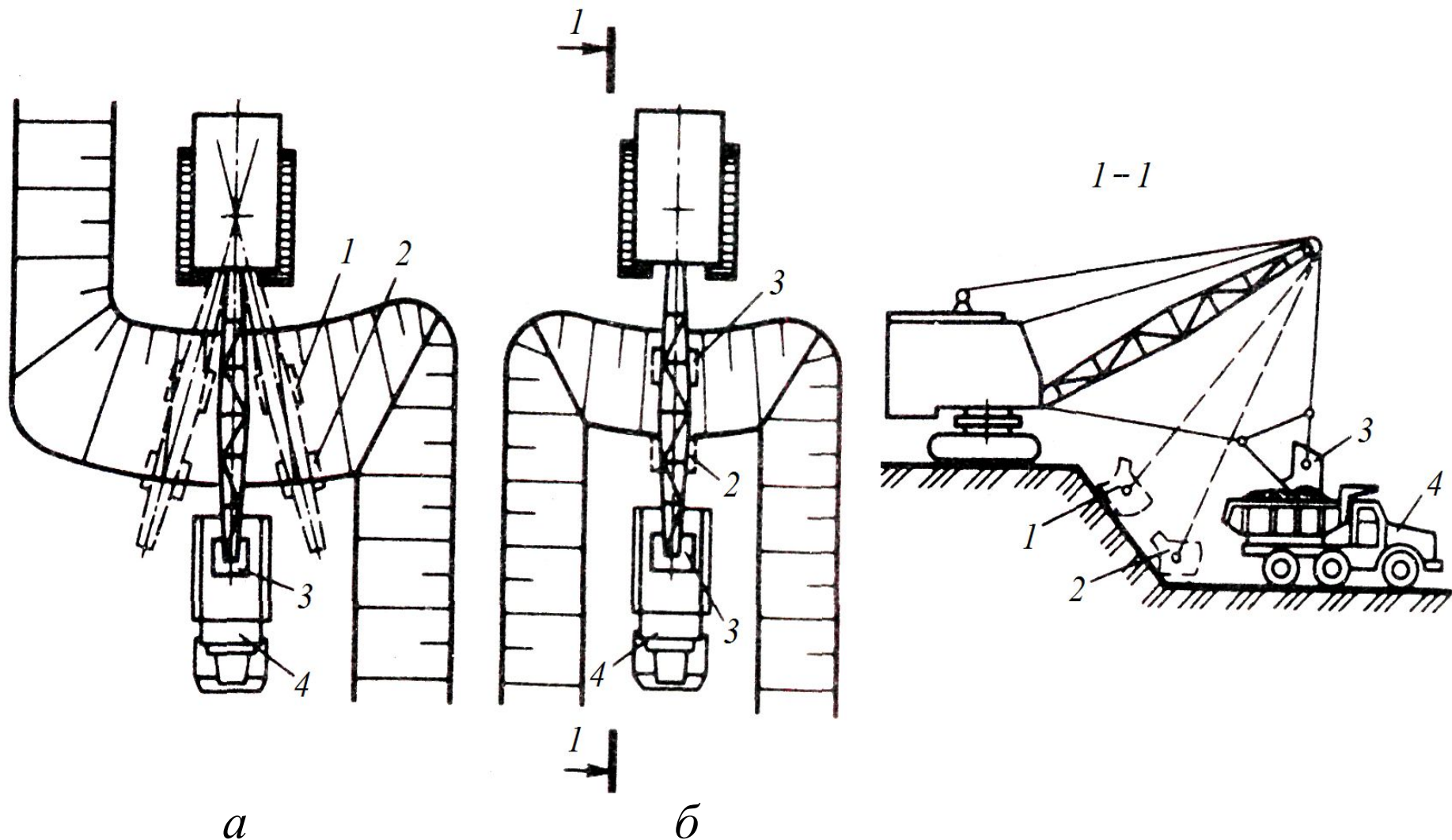


Рис. 17. Схемы проходок экскаватора с рабочим оборудованием «драглайн»:  
*а* – боковая проходка с разработкой грунта поперечно-челночным способом;  
*б* – лобовая проходка с разработкой грунта продольно-челночным способом;  
*1* – окончание набора и подъём ковша; *2* – опускание ковша и набор грунта;  
*3* – разгрузка ковша; *4* – автосамосвал

### 6.3. Экскаватор с рабочим оборудованием «грейфер»

Грейфер используют в сугубо специфических случаях для отрывки узких глубоких котлованов, траншей, колодцев, при разработке грунта ниже уровня грунтовых вод. Он представляет собой ковш с двумя или более лопастями и канатным или в последнее время стоечным приводом, принудительно смыкающим лопасти. Грейфер навешивается на стрелу и разрабатывает выемки с вертикальными стенками. При повороте стрелы ковш перемещается к месту разгрузки и опорожняется при принудительном раскрытии лопастей. Погружение в грунт осуществляется только за счёт собственной массы и принудительного опускания стойки, поэтому можно разрабатывать грунты малой и высокой плотности, в том числе и находящиеся под водой. Строительные экскаваторы «грейфер» применяют с ковшем вместимостью 0,35...2,5 м<sup>3</sup>.

## Гидравлические экскаваторы имеют следующие основные преимущества:

- существенное увеличение производительности новых машин по сравнению с машинами, имеющими механический (канатный) привод;
- снижение удельной материалоемкости и удельной энергоемкости машин;
- расширение универсальности гидравлических экскаваторов за счет сменного оборудования и рабочих органов до 40 наименований;
- автоматизация рабочего процесса;
- коренное усовершенствование систем управления и создание комфортных условий для работы машиниста;
- улучшение эстетического вида машин;
- кардинальное повышение ходовых качеств гусеничных машин.

#### 6.4. Разработка грунта одноковшовым экскаватором с обратной лопатой

Экскаватор «обратная лопата» применяют при разработке грунтов ниже уровня стоянки экскаватора, в основном при отрывке котлованов глубиной до 6 м и траншей при глубине до 7,6 м. Затраты времени на один цикл экскаватора с обратной лопатой на 10...15% больше, чем у прямой лопаты.

Поярусная разработка выемок при этом виде оборудования не практикуется.

Обратная лопата - это открытый снизу ковш с режущим передним краем, шарнирно соединённый с рукоятью, которая, в свою очередь, шарнирно соединена со стрелой. По мере протягивания назад ковш заполняется грунтом. Затем при вертикальном положении рукояти ковш переводят к месту выгрузки и разгружают путём подъёма с одновременным опрокидыванием.

Разработку грунта экскаватором «обратная лопата» производят боковым и лобовым забоями с погрузкой грунта в транспорт или в отвал (рис. 9).