

Министерство образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский технический университет

В.И. Телешев
М.В. Комаринский

Технология общестроительных работ

(конспект лекций)

Раздел 1. – Технология разработки мягких грунтов

Санкт-Петербург
2002 г.

Оглавление

Введение

Тема 1. Общие вопросы технологии и организации земляных работ

- 1.1. Виды земляных работ и сооружений
- 1.2. Строительные свойства грунтов
- 1.3. Классификация грунтов по трудности разработки
- 1.4. Баланс грунтовых масс

Тема 2. Производительность строительных машин

- 2.1. Общие положения по определению производительности строительных машин
- 2.2. Определение годового режима работы строительных машин
- 2.3. Определение необходимой общей производительности и числа строительных машин

Тема 3. Технология производства земляных работ одноковшовыми экскаваторами

- 3.1. Виды одноковшовых экскаваторов (о. э.) и их рабочее оборудование
- 3.2. Технология производства земляных работ экскаваторами – прямая лопата
- 3.3. Технология производства работ экскаваторами – обратная лопата
- 3.4. Технология производства работ экскаваторами – драглайн
- 3.5. Технология производства работ экскаватором – грейфером
- 3.6. Определение производительности экскаваторов

Тема 4. Технология производства земляных работ землеройно-транспортными машинами

- 4.1. Виды землеройно-транспортных машин
- 4.2. Технология производства земляных работ скреперами
- 4.3. Технология производства земляных работ бульдозерами

Введение

Технология строительства является научной дисциплиной о способах и средствах выполнения строительно-монтажных работ в период строительства различных сооружений.

Она отвечает на вопросы “Как и чем осуществлять данные строительно-монтажные работы”. Эффективность строительства во многом зависит от уровня технологии работ, от умения инженеров строителей использовать и внедрять наиболее эффективные технологические схемы и механизацию.

Инженеры-строители предназначены в основном для работы в строительных, проектных научных и эксплуатационных организациях имеющих отношение к строительству.

Для инженеров-строителей, работающих непосредственно на строительстве или ремонте сооружений, дисциплина “Технология” является основной профилирующей дисциплиной и здесь важность этой дисциплины наиболее очевидна.

Но и работа в проектных и научных организациях на конструкторской, расчётной или исследовательской работе требует от инженера-строителя ясного представления о способах, технических и производственных возможностях выполнения той или иной проектируемой и исследуемой конструкции и их учёта при проектировании.

При изучении технологии отдельных видов работ основное внимание необходимо уделить не просто вопросу как и чем выполнять данную работу, а физической сущности процесса, факторам, влияющим на эффективность его применения и рабочему обоснованию параметров этого процесса с возможной их оптимизацией.

При изучении “технологии” необходимы знания и умения, приобретённые студентами в процессе освоения курсов строительных материалов, механики грунтов, конструкций сооружений, техники безопасности. Курс тесно связан с дисциплинами “организация и планирование строительства” и “экономики строительства”. Эти курсы взаимно дополняют друг друга.

Трудности изучения дисциплины “технология” связаны с тем, что это – первая дисциплина, связанная непосредственно с производством. Многие студенты ни разу не были на стройках, не видели многих строительных машин и технологических процессов. Для облегчения усвоения учебного материала предполагается использовать технические средства обучения, компьютерную технологию обучения с демонстрацией аудио видео материалов.

Большая роль отводится лабораторным, курсовым работам и проектам и производственным практикам.

Таким образом, целью обучения студентов по данному курсу является:

1. Знание методов выполнения различных видов работ, средств механизации, технологических схем, физической сущности процессов, основных параметров процессов, факторов влияющих на эффективность процессов, областях их применения.
2. Умение выбрать и обосновать методы производства работ, подобрать машины для их выполнения, составлять технологические карты, сравнивать варианты технологии и механизации и на этой основе выбирать наиболее эффективные, оценивать технологичность конструкции, пользоваться справочной литературой.
3. Получение производственного опыта творческой работы по выполнению п. 2 на основе выполнения упражнений, курсовых работ, прохождения производственной практики.

Дисциплина «Технология общестроительных работ» изучается на всех специальностях строительного профиля ИСФ.

Настоящая работа представляет собой краткий конспект лекций по этой дисциплине, читаемый автором на ИСФ и предназначена для студентов ИСФ в помощь при выполнении курсовых работ и проектов и при подготовке и сдаче экзаменов.

Весь курс лекций разбит на отдельные части и разделы, в соответствии с учебным планом и программами, и их публикация в электронном виде, предполагается отдельно по

мере их готовности. Графический материал готовится специально для лекций в упрощенном виде удобном для воспроизведения их студентами.

Данный выпуск посвящен 1 разделу «Технология разработки мягких грунтов».

В подготовке раздела к электронному изданию активное участие принимали студенты 4 курса ИСФ Колгушкин А.В. Шипук А.В.....

За что автор выражает им глубокую благодарность.

Тема 1. Общие вопросы технологии и организации земляных работ

1.1. Виды земляных работ и сооружений

Земляные работы практически присутствуют при возведении всех сооружений.

Стоимость их достигает до 50% общей стоимости. Объемы работ особенно в гидротехническом строительстве достигают многих миллионов м³:

Волжская ГЭС им. Ленина – 162 млн. м³;

Канал им. Москвы – 154 млн. м³;

Братская ГЭС – 17,7 млн. м³;

Земляные сооружения делят на выемки и насыпи

Выемки – сооружения расположенные ниже дневной поверхности (рис. 1.1) – каналы, траншеи, карьеры.

Насыпи – сооружения, возводимые на отметках выше дневной поверхности (рис. 1.2) – плотины, дамбы, дорожное полотно и др.

К насыпям относят и обратные засыпки ранее образованных выемок.

Полувыемки – сооружения с преобладанием выемки.

Полунасыпи – сооружения с преобладанием насыпи.

В зависимости от назначения различают выемки профильные и не профильные.

Профильные выемки (деловые) являются частью строящихся сооружений. Не профильные – выемки для получения грунтов для насыпи (карьеры, резервы) и дополнительные выемки по условиям производства работ.

В зависимости от срока существования различают *постоянные* или *временные* выемки. Последние возводятся только на время производства строительных работ.

Виды основных сооружений и их различия видны из рисунков 1.1 и 1.2.

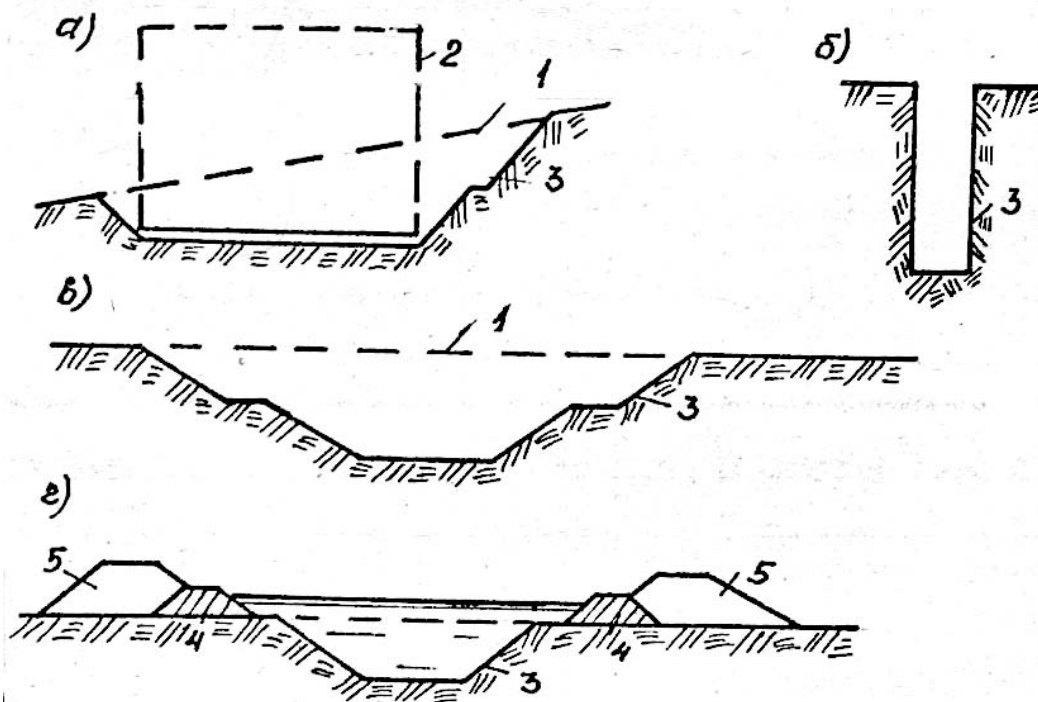


Рис. 1.1. Основные типы выемок (поперечное сечение)

а) котлован б) траншея в) канал г) канал в полувыемке

– Естественная поверхность земли

– Контур будущего сооружения

– Профильная выемка

– Профильная насыпь

– Квалер (отвал) грунта – непрофильная насыпь

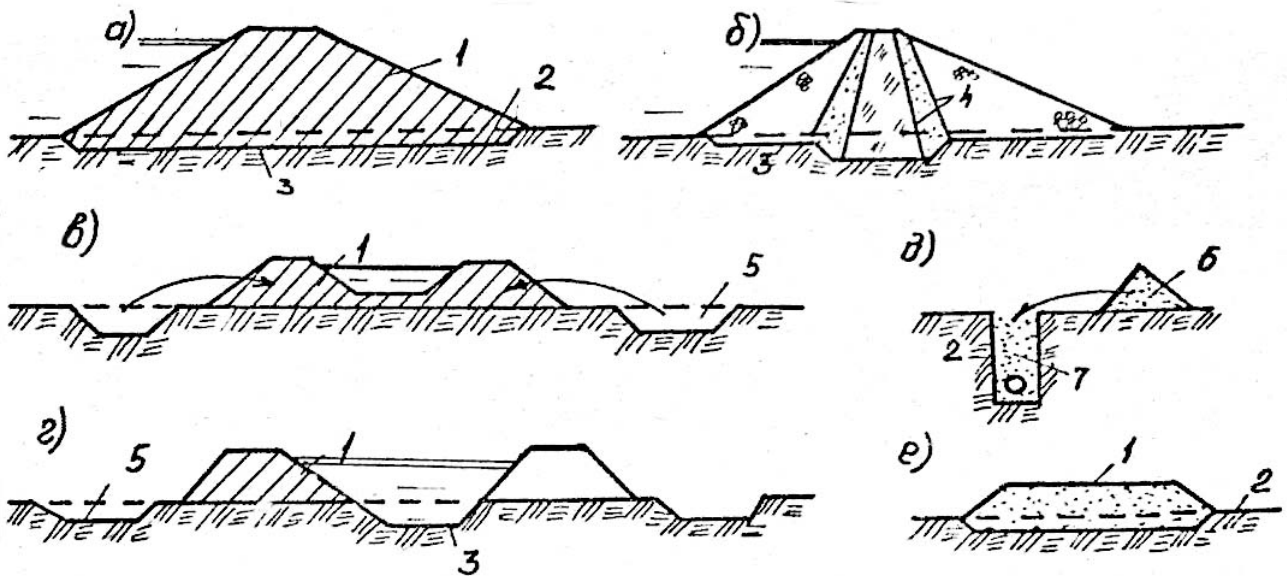


Рис. 1.2. Основные типы насыпей

- а) Однородная плотина (дамба) б) разнородная плотина
 в) канал в насыпи г) канал в полунасыпи д) обратная засыпка
 е) насыпь дорожного полотна

- 1 – профильная насыпь
 2 – естественная поверхность земли
 3 – контур котлована
 4 – контур отдельных внутренних частей плотины
 5 – резервы грунта
 6 – отвал
 7 – обратная засыпка

Элементы поперечного сечения выемки и насыпи даны на рисунке 1.3. Крутизна откосов характеризуется коэффициентами заложения откосов.

$$m = \frac{L}{H} = \operatorname{ctg} \alpha = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (1.1)$$

где L – длина горизонтальной проекции откоса;
 H – глубина выемки или высота насыпи;
 α – угол наклона поверхности откоса к горизонтальной поверхности.

Для постоянных земляных сооружений крутизна откосов задаётся проектом из условий их устойчивости. Для временных котлованов и траншей крутизна откосов назначается с учётом вида грунтов и глубины выемок.

Особым видом земляных работ являются *планировочные работы*, выполняемые для выравнивания поверхности (площадки) и придания ей заданного уклона. При этом срезают грунт с повышенных мест и отсыпают его в пониженных местах с общим выравниванием поверхности.

Объём земляных работ определяют в соответствии с правилами вычисления объёмов геометрических тел, используя вычислительную технику, а для сложных конфигураций и поверхностей соответствующие программы.

Все объёмы работ определяют по грунту в состоянии естественной плотности.

Различают проектные (профильные) объёмы работ и производственные. Проектные – по геометрическим размерам в проекте сооружения. Производственные объёмы – фактически выполняемые с учётом дополнительных объёмов, связанных с условиями производства работ, переработки грунтов и деформацией (осадки) насыпей.

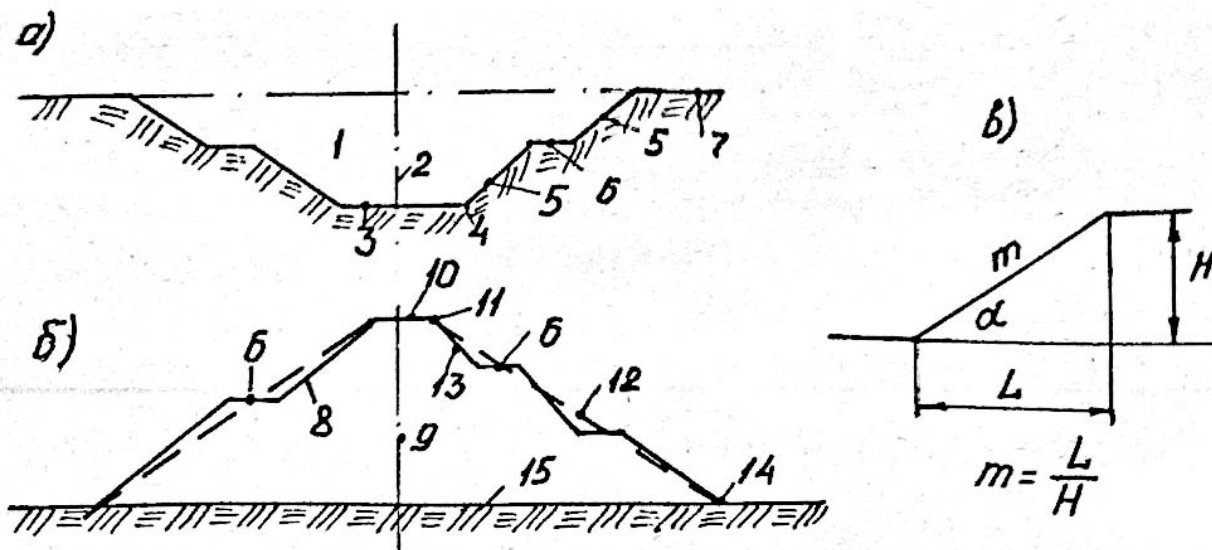


Рис. 1.3. Элементы поперечного сечения выемок и насыпей

а) выемка б) насыпь в) откос выемок и насыпей

- 1 – Поперечное сечение выемки
- 2 – Ось выемки
- 3 – Дно выемки
- 4 – Подошва откоса выемки
- 5 – Откос выемки
- 6 – Промежуточная берма
- 7 – Берма
- 8 – Поперечное сечение насыпи
- 9 – Ось насыпи
- 10 – Гребень насыпи
- 11 – Бровка насыпи
- 12 – Средний откос насыпи
- 13 – Откос насыпи между бермами
- 14 – Подошва откоса насыпи
- 15 – Основание насыпи

1.2. Строительные свойства грунтов

Грунт – сложная 3^х фазная система, состоящая из твёрдых частиц горных пород, воды и газа (воздуха).

$$V_{\text{гр.}} = V_{\text{тв.}} + V_{\text{воды}} + V_{\text{возд.}} \quad (1.2)$$

Различают: рыхлые породы и горные скальные породы.

Рыхлые грунты, в свою очередь, в зависимости от минералогического и механического состава делятся на несвязанные (песчаные) и связанные (глинистые).

Твёрдая фаза рыхлых грунтов состоит из отдельных частиц различной величины и минералогического состава. Количественное содержание в грунте частиц различной крупности (фракций) в процентах называется гранулометрическим составом грунта. В зависимости от крупности частиц различают глины, пыль, пески, гравий, гальку, валуны.

В строительной практике грунты классифицируют в зависимости от содержания глинистых частиц:

- глинистые >60-30% (тяжёлые, лёгкие, песчаные),
- суглинистые 30-10% (тяжёлые, средние, лёгкие),
- супесчаные 10-3% (тяжёлые, лёгкие, пылеватые),
- песчаные < 3% (тонко-, средне- и крупнозернистые).

Горные породы различного происхождения (магматические, осадочные, метаморфические) имеют жёсткие связи между зёрнами, обладают значительной крупностью по сравнению с рыхлыми и делятся на скальные и полускальные. К скальным относятся практически несжимаемые водостойчивые, цементированные горные породы с сопротивлением сжатию в водонасыщенном состоянии более 50 кгс/см^2 (граниты, базальты, некоторые виды песчаников). К полускальным относятся породы, имеющие предел прочности на сжатие менее 50 кгс/см^2 (глины, конгломераты).

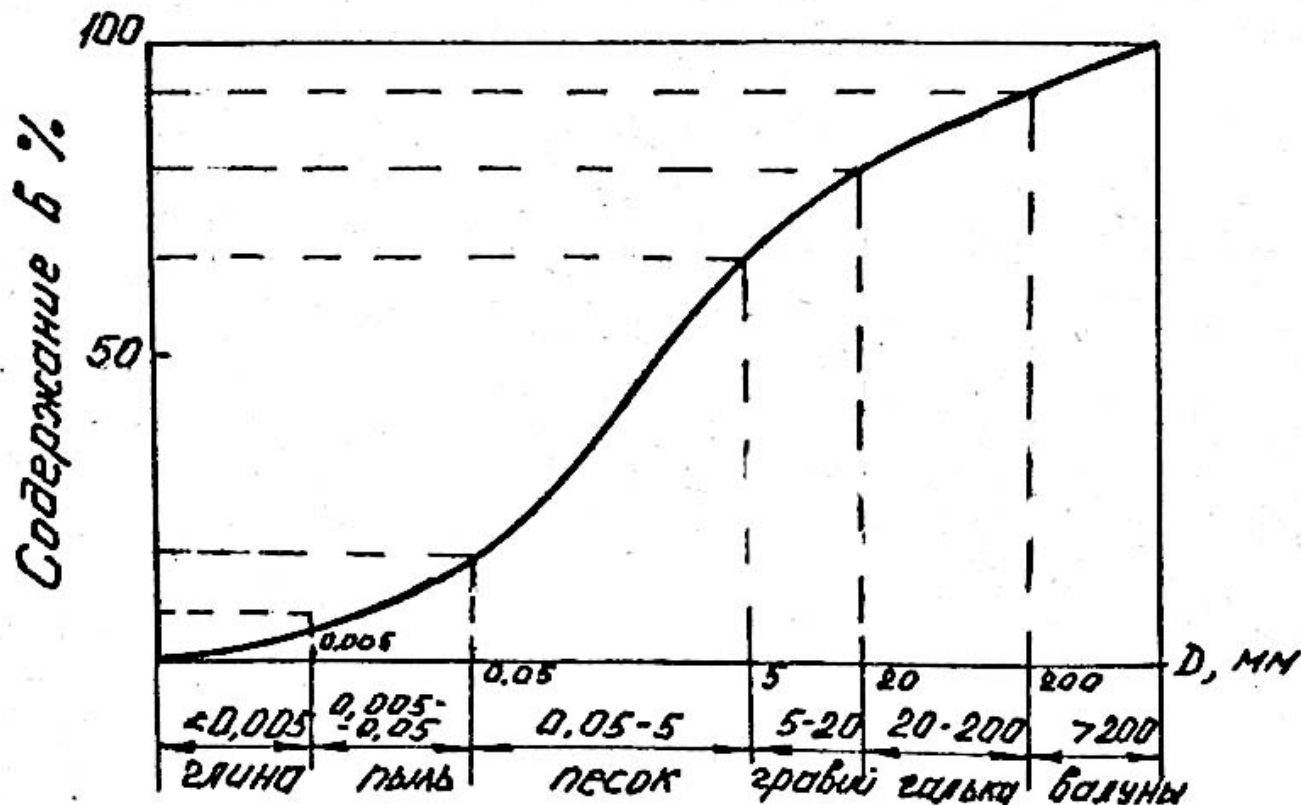


Рис. 1.5 Гранулометрический состав грунтов

Состояние и свойства грунтов и порою изменяются во времени как под воздействием природных факторов, так и под влиянием деятельности человека.

Подробным изучением свойств грунтов занимаются специальные дисциплины: инженерная геология, грунтоведение и механика грунтов. Здесь же отметим только свойства, которые важны в строительстве и существенно влияют на трудность и условия разработки грунтов. Наиболее важными показателями физических свойств грунтов, помимо их гранулометрического состава являются: плотность, влажность, внутреннее трение и сцепление.

Плотность – это масса грунта в единице объёма. Различают три разновидности плотности: плотность частиц грунта, средняя плотность грунта и средняя плотность сухого грунта.

Плотность частиц (ранее – удельный вес)

$$\rho_{\text{част}} = \frac{M_{\text{сух.гр}}}{V_{\text{плотн.тела}}} \quad (1.3)$$

Средняя плотность грунта (ранее – объёмный вес)

$$\rho_{\text{гр.ср.}} = \frac{M_{\text{гр.ест}}}{V_{\text{гр.}}} \quad (1.4)$$

Средняя плотность сухого грунта (ранее объёмный вес скелета грунта)

$$\rho_{\text{сух.гр.}} = \frac{M_{\text{сух.гр.}}}{V_{\text{гр.}}} \quad (1.5)$$

где: $M_{\text{сух.гр.}}$ – масса сухого грунта;
 $V_{\text{плотн. тела}}$ – объём частиц;
 $M_{\text{гр.ест.}}$ – масса грунта в естественном состоянии;
 $V_{\text{гр.}}$ – объём грунта;

Плотность минеральных частиц $\rho_{\text{част.}}$, в зависимости от минералов колеблется в пределах $2,35 \div 3,3 \text{ т/м}^3$ чаще $2,6 \div 2,7 \text{ т/м}^3$.

Средняя плотность грунта $\rho_{\text{гр.ср.}}$ зависит от гранулометрического и минералогического состава грунтов, от плотности укладки частиц, от влажности и от условий, в которых происходило образование грунтов ($1,5 \div 2,0 \text{ т/м}^3$).

В процессе разработки частицы грунта отделяются друг от друга и вследствие менее плотного прилегания впоследствии занимают больший объём, с соответствующим уменьшением средней плотности. Это свойство грунтов называется *разрыхляемостью* и характеризуется коэффициентом разрыхляемости k_p .

$$k_p = \frac{V_p}{V_e} \quad (1.6)$$

где: V_p – объём грунта после разработки (рыхлого)
 V_e – объём грунта в естественном состоянии до разработки

Наибольшее разрыхление имеют скальные грунты ($1,2 \div 1,5$), наименьшее пески ($1,08 \div 1,17$).

Разрыхление грунтов необходимо учитывать в течение всего технологического процесса при разработке, погрузке, транспортировке, укладке и уплотнении. Различают первичное и остаточное разрыхление.

Существенное влияние на свойства грунтов и условия их разработки оказывает *влажность*.

Влажность грунтов ω – это соотношение массы воды и массы твердых частиц

$$\omega = \frac{M_v}{M_{\text{сух.гр.}}} \quad (1.7)$$

Изменяется от 10 до 60% ($0,1 \div 0,6$). С изменением влажности изменяется трудность разработки грунтов. Труднее разрабатываются сухие грунты и повышенной влажности. Наиболее существенное влияние влажность играет при уплотнении грунтов. Чем больше глинистых и пылеватых частиц в грунте, тем большее количество влаги удерживается в его порах.

В основе строительной классификации грунтов по влажности принято число пластичности

$$J_p = \omega_n - \omega_p$$

где: ω_n – влажность на пределе текучести
 ω_p – влажность на пределе раскатывания (пластичности).
 Некоторые характеристики по влажности даны в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Вид грунта	Естественная влажность $\omega_{\text{ест}}$ %	Пластические свойства	$\frac{\omega_{\text{раск}}}{\omega_{\text{тек}}}$	Число пластичности J_p	
Песок	8-12	Не пластичный	–	–	–
Супесь	10-15	Слабо пластичный	$\frac{10-18}{20-25}$	0-7	20-25
Суглинок	20-28	Пластичный	$\frac{18-25}{25-35}$	7-17	25-30
Глина	25-35	Высоко пластичный	$\frac{25-30}{45-50}$	>17	35-45

Трудность разработки и перемещения грунта сильно зависит от таких показателей как внутреннее трение и сцепление. Показателем трудности разработки грунта землеройными машинами служит удельное *сопротивление грунта резанию* k_p кгс/см² и *сопротивление грунта копанию* k_k кгс/см².

$$k_p, k_k = \varphi(f, f_m, c), \quad (1.8)$$

где f – коэффициент внутреннего трения грунта по грунту;
 f_m – коэффициент внутреннего трения грунта по металлу;
 c – сцепление частиц грунта.

В свою очередь

$$f = \operatorname{tg} \varphi \quad f_m = \operatorname{tg} \varphi_m \quad (1.8. a)$$

где: φ – угол внутреннего трения грунта по грунту
 φ_m – угол внутреннего трения грунта по металлу
В первом приближении можно принять:

$$\varphi_m = (0,5 \div 0,75) \varphi \quad (1.8. б)$$

Сопротивление грунта копанию зависит не только от вида и состояния грунта, но и от некоторых особенностей рабочих органов машины.

Сопротивление грунта резанию и копанию можно снизить предварительным рыхлением или увлажнением грунта. Увлажнение следует производить с таким расчётом, чтобы грунт не налипал на рабочие органы и не затруднялось передвижение механизмов по поверхности забоя.

Для выбора типа машины при разработке грунтов весьма важной их характеристикой является способность грунтов выдерживать нагрузки от передвигающихся и работающих машин – так называется *несущая способность грунтов* (P_n).

Несущая способность – это удельная нагрузка на грунт при которой отсутствует выпор грунта.

$$P_n = \varphi(f, c, \omega) \quad (1.9)$$

Реальная нагрузка на грунт P от гусеничных машин должна быть меньше P_n

$$P \leq (0,6 \div 0,8) P_n \quad (1.9. a)$$

1.3. Классификация грунтов по трудности разработки

Строительными нормами и правилами СНиП установлены группы по трудности разработки. I-III категории – рыхлые грунты, IV-XI категории – скальные и полускальные.

Категория скальных и полускальных пород устанавливается в зависимости от продолжительности бурения одного погонного метра породы определённым буровым инструментом. Грунты I-III категории разрабатываются без предварительного рыхления. IV - XI – с применением рыхления.

Категория грунта зависит не только от типа грунта, но и от способа его разработки. Поэтому для каждого способа разработки в СНиП имеется своя особая классификация грунта. Один и тот же грунт при разных способах разработки может относиться к разным категориям. В производственных нормах на механизированные работы (СНиП, ЕНиР, ВНиР) грунты разделены на группы применительно к каждому виду землеройных машин.

1.4. Баланс грунтовых масс

Разрабатываемый в выемках грунт перемещают в насыпи. Суммарный объём выемок всегда равен объёму насыпей. Необходимо стремиться к тому, чтобы грунт из профильных выемок максимально использовался в профильных насыпях, сводя к минимуму не профильные объёмы в карьерах.

Для этой цели составляется баланс грунтовых масс – проектный документ, отражающий рациональное распределение грунта между выемками и насыпями. Он составляется в виде схем и таблиц (рис. 1.4 и табл. 1.1) с целью минимизации переработки и перемещения грунтов и минимальной общей стоимости земляных работ.

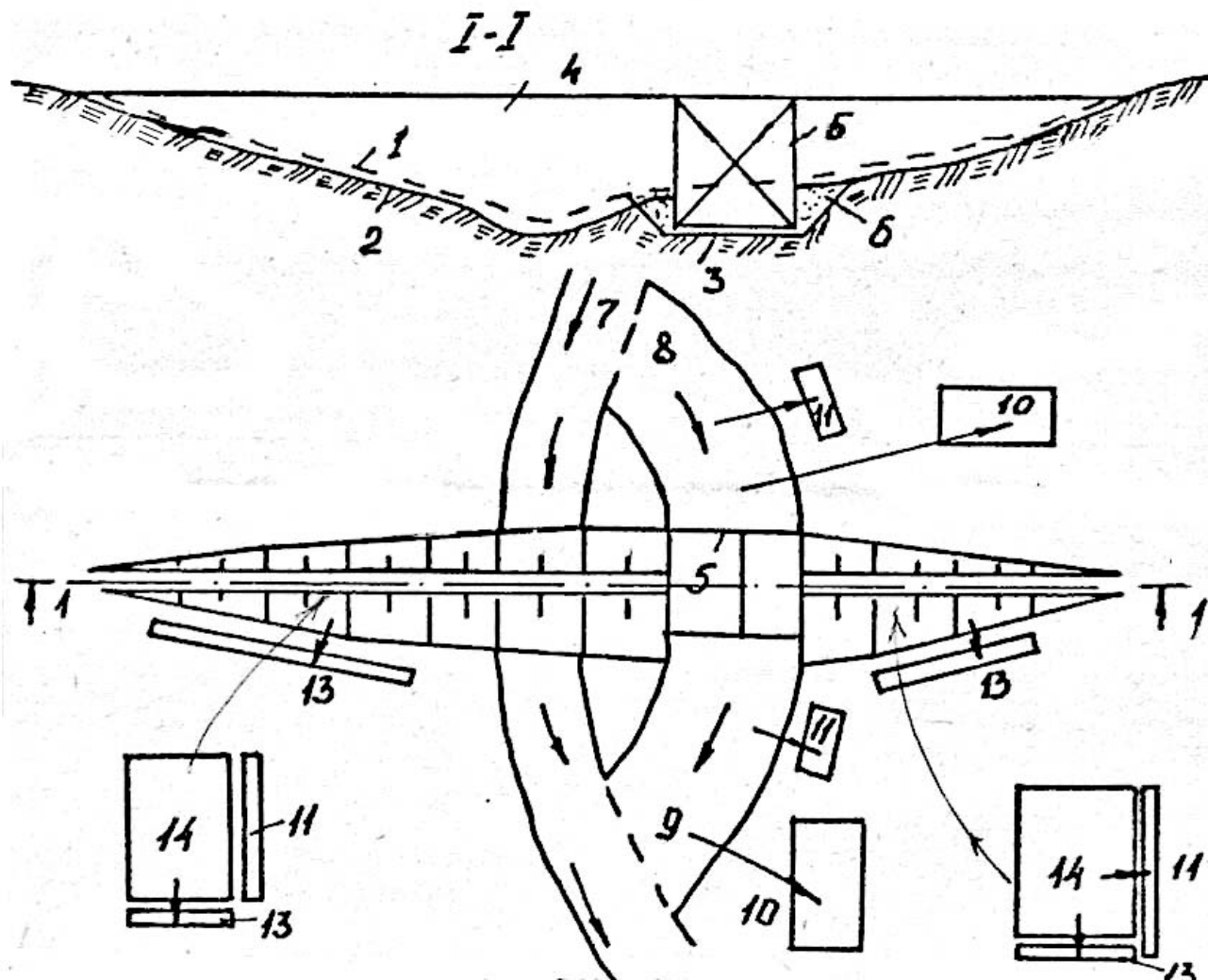


Рис 1.4. Общая схема расположения земляных сооружений и перемещений грунтов

- 1 – поверхность земли
- 2 – котлован под земляную плотину
- 3 – котлован под бетонное сооружение

- 4 – земляная плотина
- 5 – бетонное сооружение
- 6 – обратная засыпка
- 7 – русло реки
- 8 – подводящий канал
- 9 – отводящий канал
- 10 – постоянные отвалы
- 11 – временные отвалы
- 13 – отвалы растительного грунта
- 14 – карьеры

При составлении баланса грунтовых работ должны быть учтены все производственные объёмы работ.

Сумма объёмов всех выемок должна быть равна сумме объёмов всех насыпей.

$$\Sigma V_{\text{выемок}} = \Sigma V_{\text{насыпей}}$$

Таблица 1.1.

Ведомость баланса грунтовых масс

	Выемки V_B		Насыпи V_H			
	Наименование	Объём	Отвал грунта	Земляная плотина	Временный отвал грунта	Планировка площадок
1	Котлован под земляную плотину	$V_{B.1}$	ω_1	ω_2	ω_3	–
2	Котлован под бетонную плотину	$V_{B.2}$	ω_4	ω_5	–	–
3	Отводящий канал	$V_{B.3}$	ω_6	ω_7	–	ω_8
4	Подводящий канал	$V_{B.4}$	ω_9	ω_{10}	ω_{11}	ω_{12}
5	Прочие сооружения	$V_{B.5}$	ω_{13}	–	–	ω_{14}
6	Карьер	$V_{B.6}$	–	ω_{15}	ω_{16}	ω_{17}
		$\frac{\Sigma V_B}{\Sigma V_H}$	$V_{H.1}$	$V_{H.2}$	$V_{H.3}$	$V_{H.4}$

Тема 2. Производительность строительных машин

2.1. Общие положения по определению производительности строительных машин

Производительность – объём работ производимый за единицу времени (например, за час, смену, сутки и т.д.). Обычно производительность принято определять за 1 час.

Различают 3 вида производительности машин:

конструктивную $\Pi^к$,
техническую $\Pi^т$,
эксплуатационную $\Pi^э$.

Конструктивная производительность – количество продукции, выработанное машиной за 1 час при непрерывной работе, при расчётных скоростях движения машин, и расчётных условиях работы и нагрузках (заводские условия).

Для машин циклического действия.

$$\Pi^к = q'_ц \cdot n'_ц \quad (2.1)$$

где: $q'_ц$ – объём работ (продукции) выработанный за 1 рабочий цикл t , м³ или шт. при полной загрузке рабочего органа машины (ёмкости ковша, грузоподъёмности крана).

$n'_ц = \frac{A}{t'_ц}$ – количество условных рабочих циклов, выполняемых машиной за 1 час

непрерывной работы в заводских (теоретических) условиях.

A – переходной коэффициент – соотношение расчётной единицы времени производительности (1 ч) и времени цикла (при $t_ц$ в часах $A = 1$, при $t_ц$ в мин $A = 60$, при $t_ц$ в сек $A = 3600$).

Техническая производительность – наивысшая производительность за 1 час непрерывной работы, которая могла быть достигнута в конкретных условиях производства работ с учётом регламентированных технологических перерывов при совершенной (проектной) организации строительного процесса.

$$\Pi^т = q_ц \cdot n_ц = q'_ц \cdot K_з \cdot n'_ц \cdot K_ц, \quad (2.2)$$

где: $q_ц = q'_ц \cdot K_з$ – расчетная продукция с учётом загрузки рабочего органа.

$K_з$ – коэффициент загрузки рабочего органа, машины в конкретных условиях работы (полнота загрузки, коэффициент разрыхления и т.д.)

$n_ц = \frac{3600}{t_ц}$ – расчётное (проектное) число циклов машины в 1 ч при $t_ц$ в сек.

$t_ц$ – время цикла при конкретных условиях работы

$t_ц = t'_ц \cdot K_ц$ – коэффициент учитывающий конкретные условия, влияющие на продолжительность цикла.

Эксплуатационная производительность машины – это среднечасовая производительность в течении смены в производственных условиях с учётом перерывов в работе машин, предусмотренных нормами или проектом (заправка топливом, смена рабочего оборудования, перемещения по площадке и т.д.).

$$\Pi_ц^* = \Pi^т \cdot K_в \cdot K_у, \quad (2.3)$$

* – Обычно часовую эксплуатационную производительность обозначают $\Pi_ц$, что мы и будем делать в дальнейшем.

$K_6 = \frac{T_{ч.р}^p}{T_{ч.см}^k}$ – коэффициент внутрисменного использования машины в течение смены

$T_{ч.р}^p$ – число расчётных часов работы машины за смену;

$T_{ч.см}^k$ – общее число часов в смене (календарное)

K_y – коэффициент уравнения, учитывающий квалификацию машиниста и его утомляемость в зависимости от удобства управления.

В отличие от Π^k и Π^T , определяемых за 1 час работы машины, эксплуатационная производительность рассчитывается не только за 1 час, но и за смену, месяц и др.

$$\Pi_{сут}^э = \Pi_{ч} \cdot T_{ч.сут}^p \quad \Pi_{мес}^э = \Pi_{ч} \cdot T_{ч.мес}^p \quad \Pi_{год}^э = \Pi_{ч} \cdot T_{ч.год}^p \quad (2.4)$$

где: $T_{ч.сут}^p, T_{ч.мес}^p, T_{ч.год}^p$, – расчетное число работы машины с учетом ее годового режима, то есть $T_{ч}^p = \varphi$ (годового режима работы машины)

Основой для определения $T_{ч}^p$ является годовой режим работы машины (§22).

Для машин непрерывного действия соответственно:

$$\Pi^k = 3600 \cdot f' \cdot V'$$

$$\Pi^T = 3600 \cdot f \cdot V = 3600 \cdot f' \cdot K_3 \cdot V$$

$$\Pi^э = \Pi^T \cdot K_в \cdot K_y,$$

где: f' – площадь сечения потока в м² продукции при полной загрузке рабочего органа.

V' – скорость потока продукции м/с.

f – расчётная площадь сечения потока м² при конкретных условиях загрузки.

K_3 – коэффициент загрузки рабочего органа.

V – расчётная скорость потока, м/с учитывающая конкретные условия работы.

2.2. Определение годового режима работы строительных машин

Основой для определения T^p является годовой режим работы

$$D_p = D^k - D_{перер}$$

$$D_p = 365 - (D_{вых} + D_{мет} + D_{рсм} + D_{перезбаз} + D_{ожид} + D_{непр})$$

где: D_p – число расчетного дней работы машины в году.

D^k – число календарных дней в году (365).

$D_{перер}$ – число нерабочих (перерывов) в году.

$D_{вых}$ – число выходных дней по календарю.

$D_{мет}$ – число дней с неблагоприятными климатическими условиями = φ (климатических зон) (ветер > 10м/с, дождь, промерзание грунта)

$D_{рем}$ – число дней для ремонта = $\varphi(T_{ч}^p \cdot P_{ч}^p = \varphi(P_{ч}^p) \cdot T_{ч}^p$)

$P_{ч}^p$ – нормативные затраты времени на 1 час рабочего времени (по спец. нормам)

$D_{перезбаз}$ – число дней для переобазировки

$D_{ожид}$ – число дней ожидания ремонта (по данным аналогов в ПОС)

$D_{непр}$ – число дней перерывов по непредвиденным обстоятельствам

$$D_{непр} \approx 3\%(D^k - D_в)$$

Годовой режим распределяется по сезонам, месяцам, с учётом α_3 – коэффициента снижения расчётных часов машины в зимний сезон.

При отсутствии конкретных данных для определенного T_c^p , он приближенно может быть определён с использованием коэффициента использования календарного времени года в работе машины – K_u^k .

$$P_{\text{год}}^p = P_{\text{ч год}}^k \cdot K_u^k \quad (2.7)$$

$$K_u^k = \varphi(\text{типа машины, температурной зоны}) \approx 0,3-0,5$$

2.3. Определение необходимой общей производительности и числа строительных машин

Общая потребная производительность строительных машин для производства земляных работ определяется в зависимости от необходимой интенсивности работ J .

$$\sum P_i = \varphi(J_i)$$

Для каждого вида работ на основании календарного плана устанавливается график изменения интенсивности на весь период возведения сооружения. Эти графики, как правило, имеют ступенчатый характер, изменяясь по годам, сезонам месяцам.

На основании этих графиков выделяют среднюю месячную интенсивность за какой то длительный период $J_{\text{мес}}^{cp}$ и кратковременную пиковую $J_{\text{мес}}^{пик}$ интенсивность.

В принципе, производительность строительных машин должна удовлетворять максимальную пиковую потребность в интенсивности работ. Но эту пиковую потребность можно удовлетворить не только за счёт увеличения количества машин, но и за счёт изменения режима работ машины. Это положение и принимается при определении необходимого количества машин.

Обычно расчёты ведутся на среднюю месячную расчётную производительность за расчётный период. Тогда:

$$J_{\text{мес } i}^{\text{летн}} = \frac{\sum V_i^{\text{летн}}}{n_{\text{мес}}^{\text{летн}}} \quad (2.8)$$

$$J_{\text{мес } i}^{\text{зимн}} = \frac{\sum V_i^{\text{зимн}}}{n_{\text{мес}}^{\text{зимн}}}$$

Производительность машин и их число должны обеспечивать эту интенсивность при нормальном режиме работы

$$P_{\text{мес } i}^{\text{летн}} \cdot N_i \geq J_{\text{мес } i}^{\text{летн}}$$

$$N_i = \frac{J_{\text{мес } i}^{\text{летн}}}{P_{\text{мес } i}^{\text{летн}}} \quad (2.9)$$

где: N_j – число машин

Пиковая месячная интенсивность должна обеспечиваться за счёт работы этих же машин при специальном пиковом режиме работы.

Тогда

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{мес } i}^{\text{пик}} &= \Pi_{\text{ч } i} \cdot T_{\text{ч } i}^{\text{пик}} \\ N_i^{\text{пик}} &= \frac{J_{\text{мес } i}^{\text{пик}}}{\Pi_{\text{мес } i}^{\text{пик}}} \end{aligned} \tag{2.10}$$

Необходимо стремиться к тому чтобы

$$N_i \geq N_i^{\text{пик}}$$

В противном случае число машин следует принять $N_i^{\text{пик}}$.

Тема 3. Технология производства земляных работ одноковшовыми экскаваторами

3.1. Виды одноковшовых экскаваторов (о. э.) и их рабочее оборудование

Одноковшовые экскаваторы – землеройная машина циклического действия, основным рабочим органом которой является ковш с зубьями.

Предназначается для разработки грунтов в различных условиях.

Классификация о. э. известна из курса строительных машин.

Экскаваторы различают по следующим признакам:

- по типу подвески (жесткая, гибкая);
- по типу ходового устройства (колесные, гусеничные);
- по типу рабочего оборудования: прямая лопата, обратная лопата, драглайн, грейфер

(рис. 3.1).

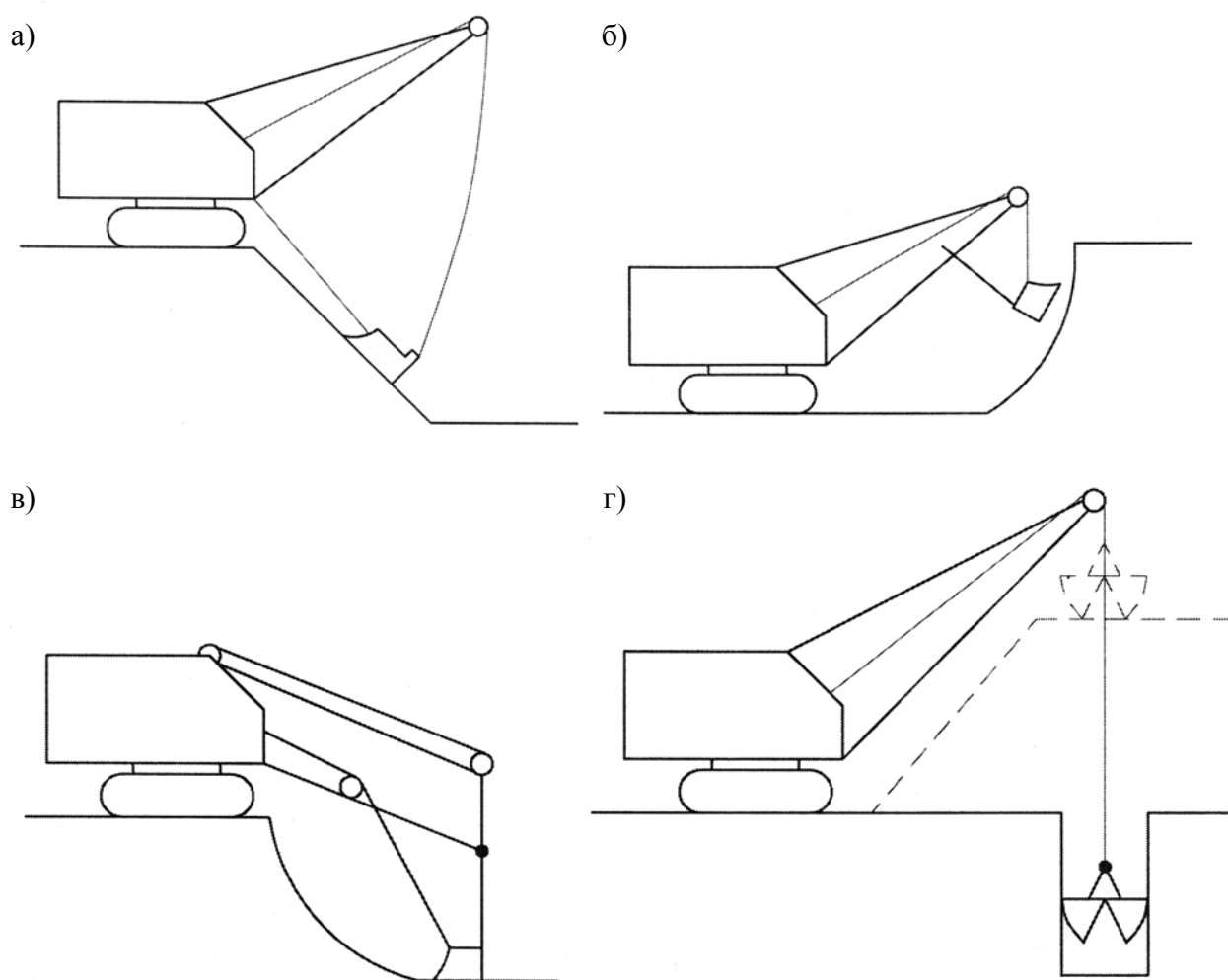


Рис. 3.1. Схемы одноковшовых экскаваторов с различными видами рабочего оборудования

а) драглайн

б) прямая лопата

в) обратная лопата

г) грейфер

3.2. Технология производства земляных работ экскаваторами – прямая лопата

3.2.1. Область применения. Параметры

Предназначаются для разработки грунтов выше уровня стоянки (рис. 3.2).

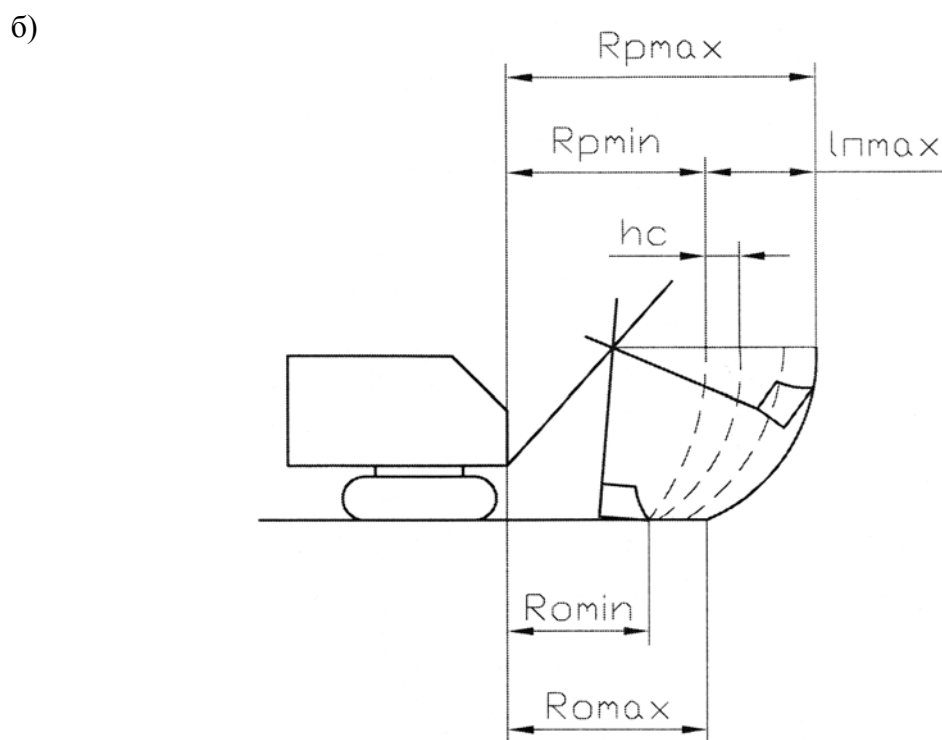
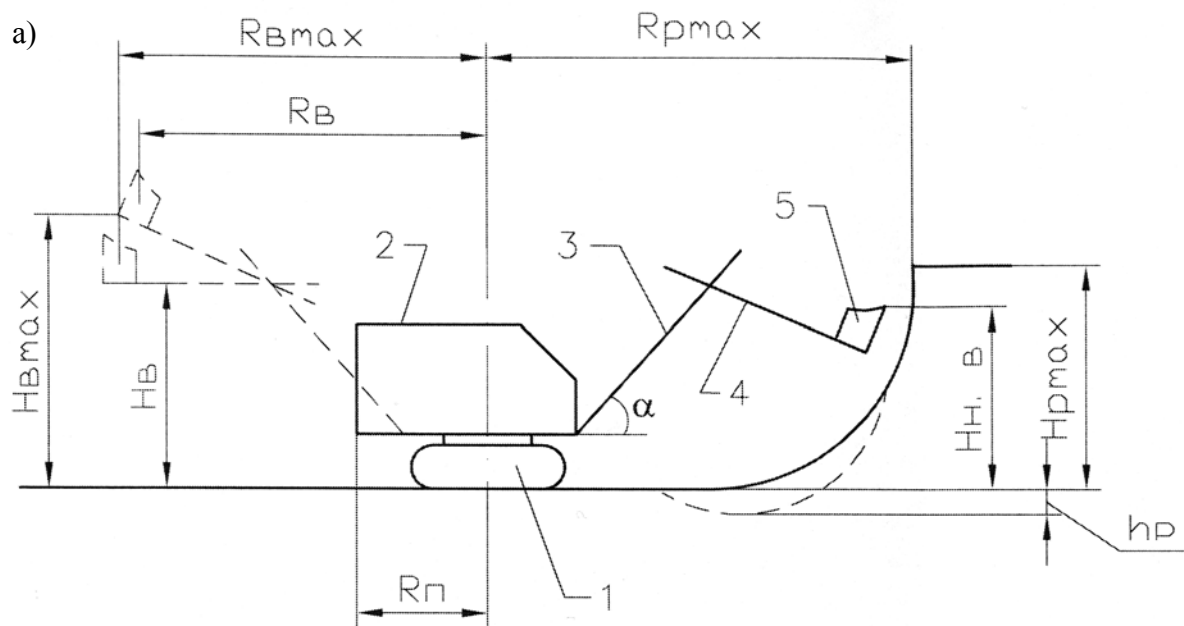


Рис. 3.2. Параметры экскаватора «прямая лопата» (а) и схема его работы (б)

- 1 – гусеничное ход. устройство
- 2 – поворотная платформа
- 3 – стрела
- 4 – рукоять
- 5 – ковш с откидным днищем

$$H_p = H_{min} \div H_{max}$$

$$H_{min} = q \cdot K_n / b \cdot h_p \cdot K_p$$

$$H_{p,max} = H_{н.в}$$

$$l_{n,max} = R_{p,max} - R_{p,min}$$

Основные параметры (рис. 3.2 а):

R_p – радиус резания,

H_p – высота резания,

R_g – радиус выгрузки,

H_g – высота выгрузки,

R_o – радиус копания на уровне стоянки,

$H_{н.в.}$ – высота напорного вала.

Экскаватор – прямая лопата относится к машинам циклического действия.

3.2.2. Схема работы

Рабочий цикл включает:

– копание, поворот, выгрузка-возврат

$$t_{ц} = t_{коп.} + t_{пов.} + t_{выгр.} + t_{возвр.} = \Phi (q_k, \text{вид грунта}, \alpha_{пов.}) \quad (3.1)$$

При копании включаются механизмы напора и подъема ковша, который перемещается из нижнего положения (I) в верхнее (IV), срезает стружку грунта и наполняется. На заключительной стадии копания рукоять втягивается, стрела начинает поворот на выгрузку. Толщина стружки регулируется напорным механизмом (рис. 3.2 б).

Для уменьшения сопротивления копанию в плотных грунтах каждая последующая стружка снимается так, чтобы ковш перекрывал след от предыдущего движения. При этом одна из боковых стенок ковша исключается из процесса копания и уменьшает трение. Т. е. идет разработка по радиусу с наложением следов ковша. Таким же образом разрабатываются следующие слои стружки, пока не будет использован почти весь ход рукояти. После чего экскаватор передвигается на расстояние передвижки – $l_{пер.}$

$$l_{пер.маx} = l_{х.р.}$$

$$l_{х.р.} \approx R_{р.маx} - R_{р.миn}$$

где $l_{пер.}$ – величина передвижки экскаватора,

$l_{х.р.}$ – длина хода рукояти.

Практически $l_{пер.} \approx 0,6 - 0,8 l_{х.р.}$

Минимальная высота забоя должна из условия полного наполнения ковша должна быть равна

$$H_{з.миn} = \frac{q}{\varepsilon \cdot h_c}$$

$$q = q^1 \cdot k_3$$

$$k_3 = \frac{k_n}{k_p}$$

$$k_n = \frac{q^1}{q}$$

$$k_p = \frac{V_p}{V_{есm}}$$

где $H_{з.миn}$ – минимальная высота забоя,

q – фактическая загрузка ковша с «шапкой»,

q^1 – геометрическая емкость ковша,

ε – ширина стружки,

h_c – толщина стружки,

k_3 – коэффициент загрузки ковша (рабочего органа).

(3.2)

k_n – коэффициент наполнения ковша,
 k_p – коэффициент разрыхления грунта,
 V_p – объем рыхлого грунта,
 V_{ec} – объем грунта в естественном состоянии.

Экскаватор обычно рассчитывается на наполнение ковша в тяжелых грунтах. При этом минимальная высота забоя равна высоте напорного вала ($H_{н.в.}$) экскаватора.

$$H_{з.min} = H_{н.в.}$$

$$H_{з.min} = 0,3 - 0,4 H_{н.в.} \quad \text{в легких грунтах}$$

$$H_{з.min} = 0,5 - 0,6 H_{н.в.} \quad \text{в средних грунтах}$$

Разработка более высоких забоев более экономична, а поэтому реальная высота определяется конкретными условиями безопасности работы.

3.2.3. Забои экскаватора

Забой – рабочее место экскаватора, включающее и участок маневрирования транспортом. Различают лобовой и боковой забои.

Лобовой забой (рис. 3.3). При лобовом забое разработка грунта ведется впереди и по обеим сторонам экскаватора полосой, определяемой рабочими параметрами экскаватора и положением транспортных средств.

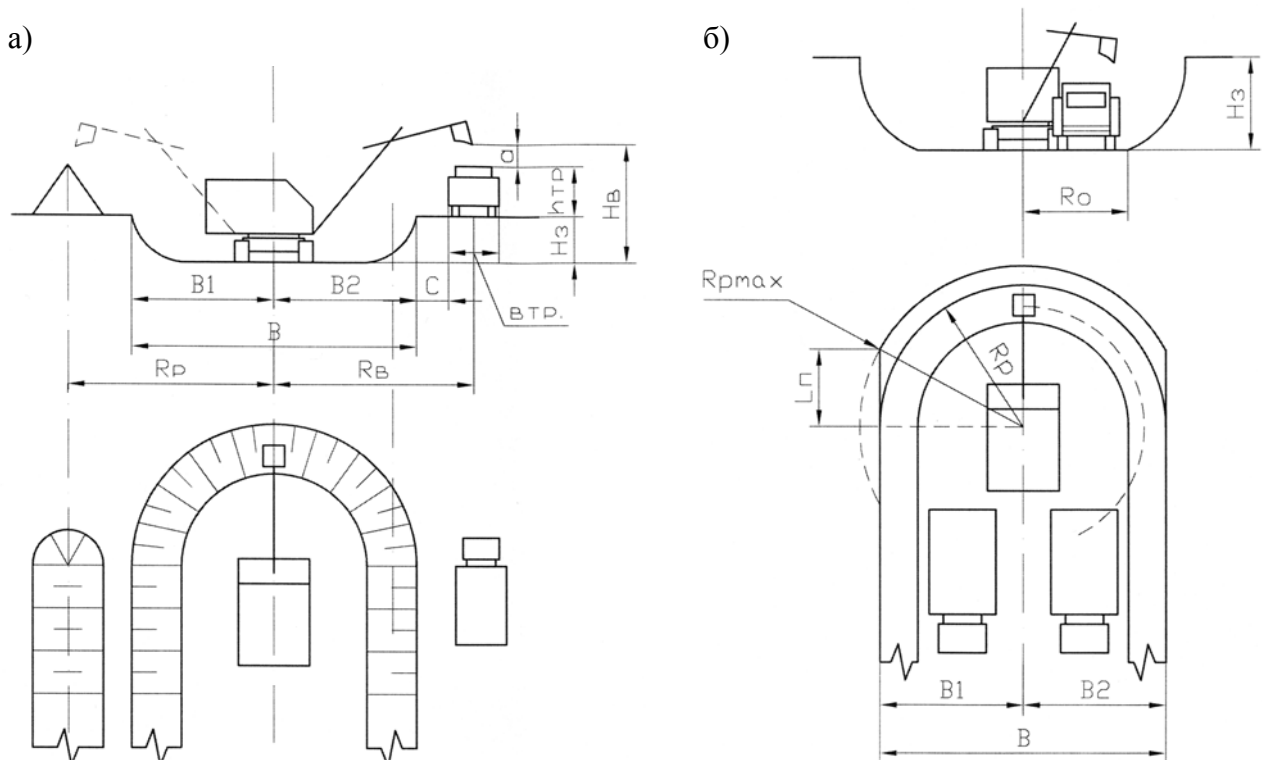


Рис. 3.3. Схемы лобовых забоев

а) с разгрузкой в отвал

б) с погрузкой на а/м выше уровня стоянки

в) в погрузкой на а/м на уровне стоянки

Параметры забоя (ширина B и глубина H_3) зависят от расположения транспортных средств (рис. 3.3). При расположении транспортных средств на дне выемки (на уровне стоянки экскаватора) параметры забоя зависят, также от требований к профилю выемки и прямолинейности откоса.

При возможности выемки с «волнистым» откосом

$$\begin{aligned} B &= 2R_{p.\max} \\ H_3 &\leq H_{p.\max} \end{aligned} \quad (3.3)$$

При необходимости точного выдерживания профиля выемки и прямолинейности откоса

$$\begin{aligned} B &= 2\sqrt{R_{p.\max}^2 - l_{\text{пер}}^2} \\ H_3 &\leq H_{p.\max} \end{aligned} \quad (3.4)$$

$l_n = 0,6 - 0,7 l_{x.p.}$ (0,8 – 1,2 м – для экскаваторов малой мощности, 1,5 – 2,0 м – для экскаваторов средней мощности, 4,0 – 6,0 м – для экскаваторов большой мощности).

При расположении транспортных средств выше уровня стоянки (на бровке выемки) параметры выемки зависят от условий погрузки грунта на транспорт (от односторонней или двусторонней разгрузки) (рис. 3.3).

При односторонней разгрузке

$$\begin{aligned} B &= B_1 + B_2 \\ B_1 &= R_p \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$B_2 = R_b - \frac{B_{\text{тр.}}}{2} - C < R_p$$

$$H_3 = H_b - h_{\text{тр.}} - a$$

где $b_{\text{тр.}}$ – ширина транспортных средств,
 C – расстояние от бровки откоса до транспортных средств,
 $h_{\text{тр.}}$ – высота транспортного средства,
 a – запас в положении ковша над транспортным средством в период разгрузки.

При 2-х сторонней разгрузке

$$\begin{aligned} B_1 = B_2 &= (R_p - \frac{b_{\text{тр.}}}{2} - C) < R_p \\ B &= 2B_1 \leq 2R_p \end{aligned} \quad (3.6)$$

Боковой забой (рис. 3.4). Применяется при разработке грунтов по одну сторону от оси проходки и погрузке грунта на транспортные средства.

Параметры забоя

$$B_{\max} = B_{1\max} + B_{2\max} \quad H_p \leq H_{p.\max}$$

$$B_{1\max} = \sqrt{R_{p.\max}^2 - l_n^2} \text{ – при работе с ровным откосом.}$$

$$B_{1\max} = R_{p.\max} \text{ – при работе с волнистым откосом.}$$

$$B_{2.\max} = R_{b.\max} - 0,5 B_{\text{тр.}} - C \quad (3.7)$$

– при расположении транспорта на уровне оси поворота стрелы ($\beta = 90^\circ$).

$$B_{2,\max} = R_{в,\max} \sin\beta - 0,5 v_{тр.} - C \quad (3.8)$$

– при расположении транспорта впереди экскаватора.

Обычно $\beta_{ср.} = 70 - 90^\circ$.

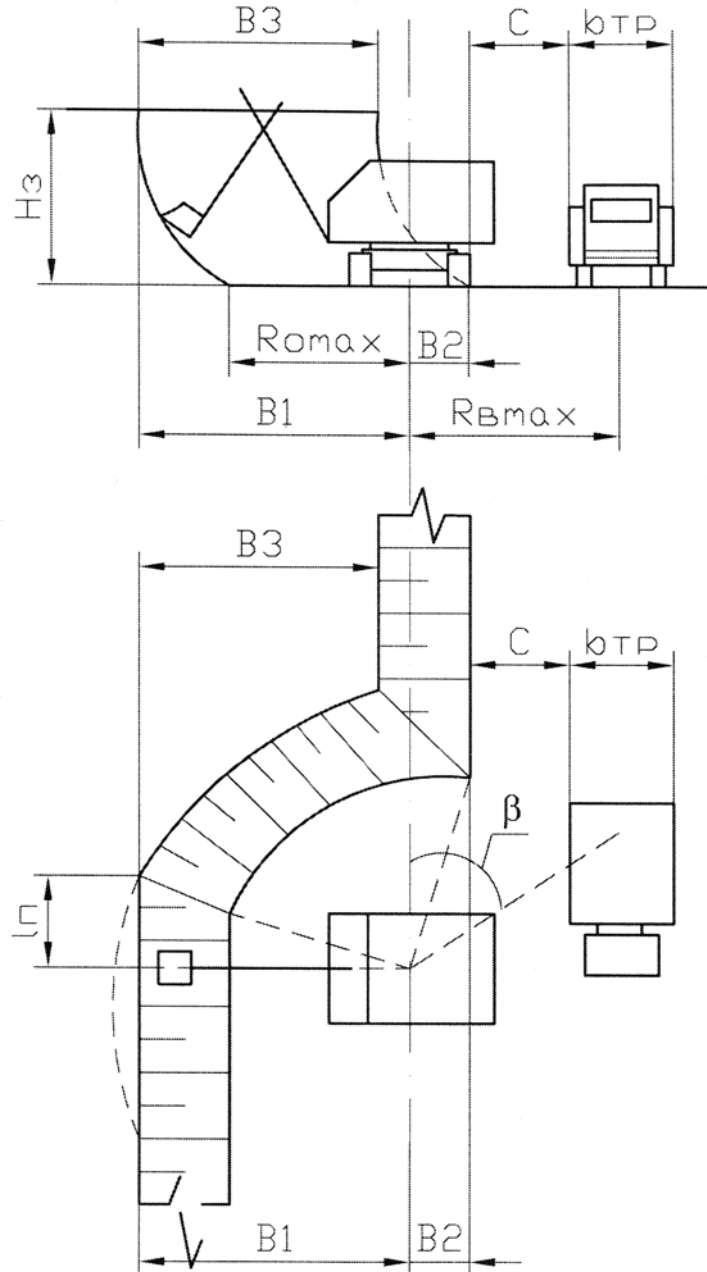


Рис. 3.4. Схема бокового забоя

Ширина забоя

$$B_{заб.} = B_1 + B_2 - (R_p - R_{\max}) \quad (3.9)$$

Все обозначения прежние.

3.2.4. Разработка выемок больших размеров

При значительных глубинах и размерах выемки ($H > H_{p\max}$) она разбивается на ярусы и отдельные ленты – забои (рис. 3.5).

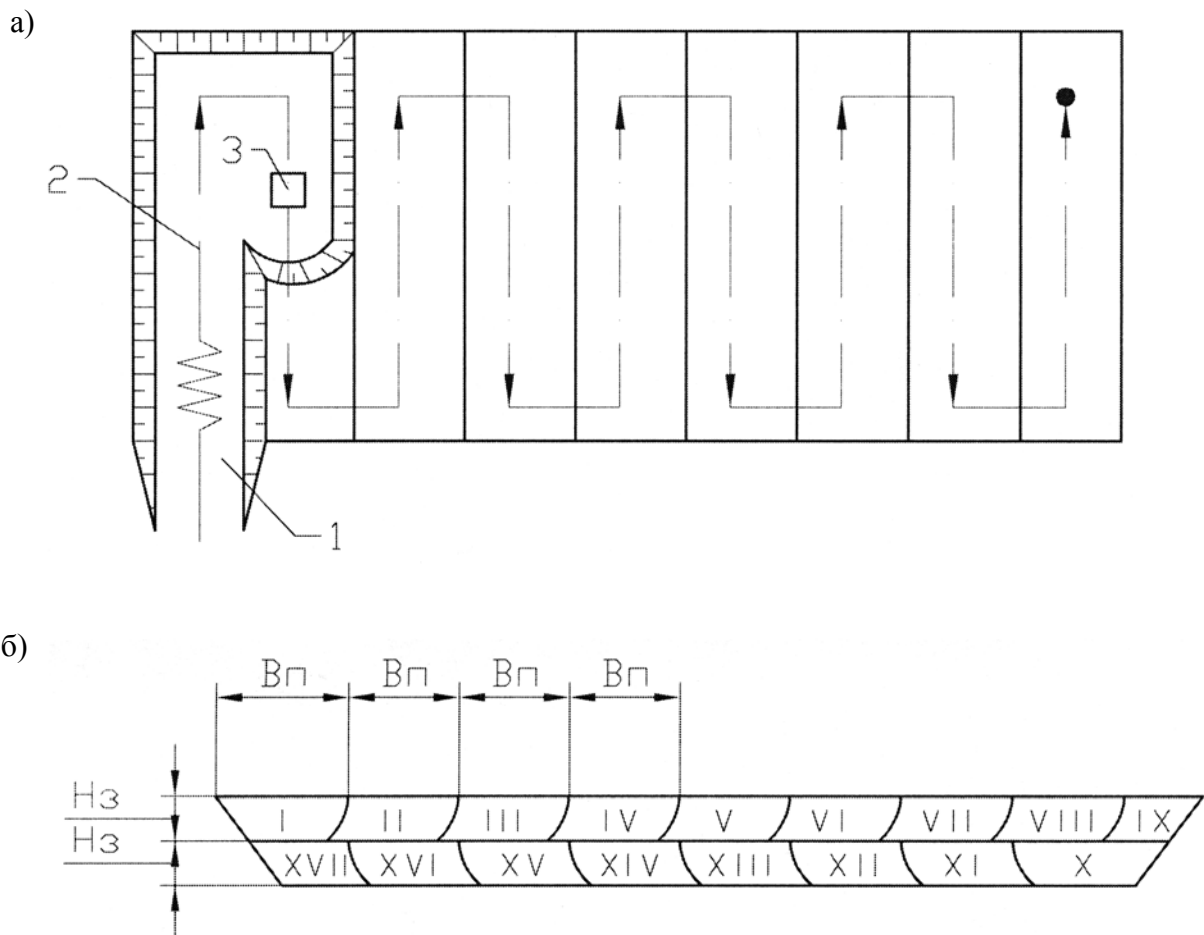


Рис. 3.5. Схема разработки котлована большой площади

а) план

б) разрез

1 – пионерская траншея

2 – путь движения экскаватора

3 – экскаватор

Вход экскаватора в каждый ярус осуществляется проходной пионерной траншеей, глубина которой определяется условиями выгрузки грунта и расположением транспорта.

Число ярусов

$$n_{\text{я}} = \frac{H}{H_3},$$

где: H – полная глубина выемки,
 H_3 – максимальная высота забоя.

Число полных лент

$$n_{\text{л}} = \frac{B - B_{\text{п}}}{B_{\text{л}}},$$

где: B – ширина выемки в каждом ярусе поверху,
 $B_{\text{п}}$ – ширина первой ленты (пионерной траншеи),
 $B_{\text{л}}$ – ширина одной ленты разработки,
 $n_{\text{л}}$ – число полных лент в одном ярусе (с округлением до большего числа).

3.2.5. Некоторые рекомендации по назначению параметров забоя

Ранее рассмотрены теоретические схемы и формулы для определения параметров забоя: H_3 , B , B_1 и B_2 .

Исходя из опыта практики, можно рекомендовать некоторые практические данные:

- а) В среднем $H_3 \approx H_{нв}$ – для тяжелых грунтов,
 $H_3 \approx 0,5 - 0,6 H_{нв}$ – для средних грунтов,
 $H_3 \approx 0,3 - 0,4 H_{нв}$ – для легких грунтов.

- б) $H_{3.min} = \varphi$ (емк. экскав. категории грунтов). Например
 $q_k = 1,0 \text{ м}^3 H_{3.min} = 2,0 - 3,0 \text{ м}$ – для I-III категорий,
 $q_k = 3,0 \text{ м}^3 H_{3.min} = 3,5 - 5,0 \text{ м}$ – для I-III категорий.

- в) Ширина выемки поверху B при лобовом забое $B = (0,8 - 1,9) R_p$

При $B = (0,8 - 1,5) R_p$ – узкий забой, с транспортом с одной стороны сзади экскаватора.

При $B = (1,5 - 1,9) R_p$ – забой нормальной ширины. При этом транспорт располагается с обеих сторон попеременно, чем исключается простой экскаватора при смене транспортных средств, и уменьшается средний угол поворота ($\alpha_{пов.уг.}$).

- г) При $B \geq 2 R_p$ – боковой забой

Иногда при B до $2,5 R_p$ – лобовой забой с перемещением экскаватора по зигзагу.

- д) Примерные практические размеры высоты забоев для прямых лопат колеблются:

Емкость ковша	Высота забоя
0,5	3,5
1,0	4,5
2,0	5,1
3,0	6,1
4-5	6,1
6-8	6,5

3.3. Технология производства работ экскаваторами – обратная лопата

3.3.1. Область применения

Применяется при разработке грунта ниже уровня своего стояния, в т.ч. ниже уровня грунтовых вод.

В основном применяется для разработки грунта в нешироких каналах, небольших котлованах, траншеях с крупными откосами, при устройстве и очистке осушительных каналов, для нетяжелых грунтов, т.к. не имеет принудительного напора. Предпочтительна разработка грунтов в отвал.

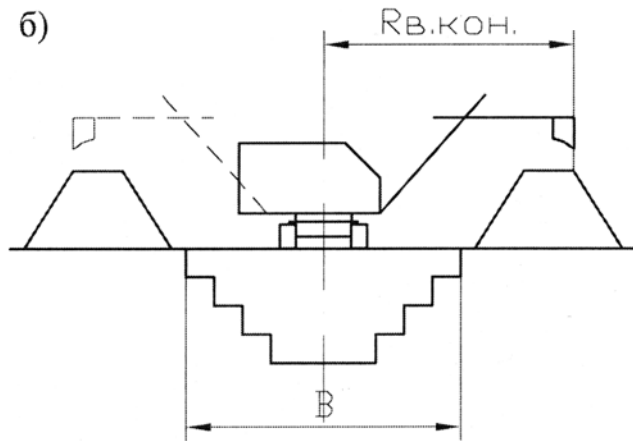
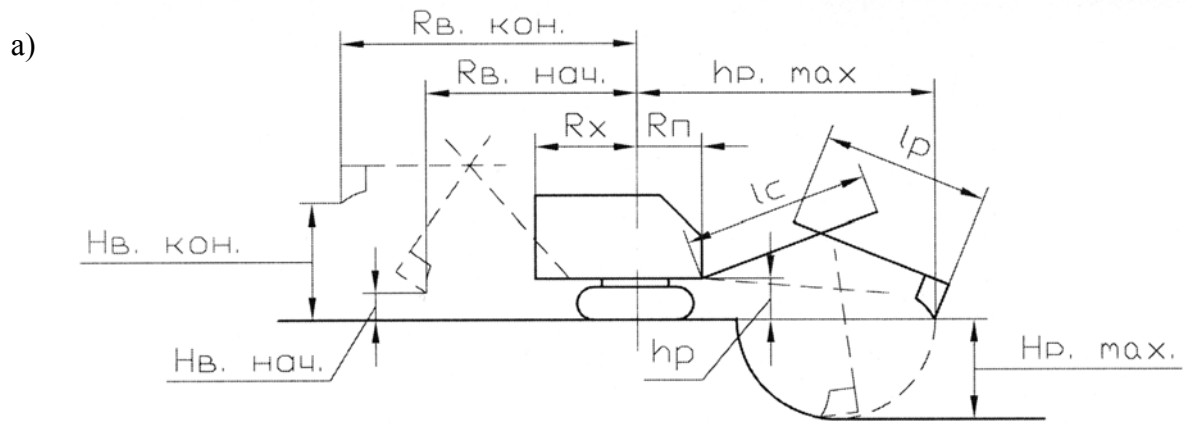
В гидротехническом строительстве не получили большого распространения из-за того, что эти экскаваторы выпускаются с ковшами небольшой емкости и с более низкой производительностью по сравнению с прямой лопатой.

Основными рабочими параметрами (р. п.) являются (рис. 3.6 а):

R_o – радиус резания на уровне поверхности земли,

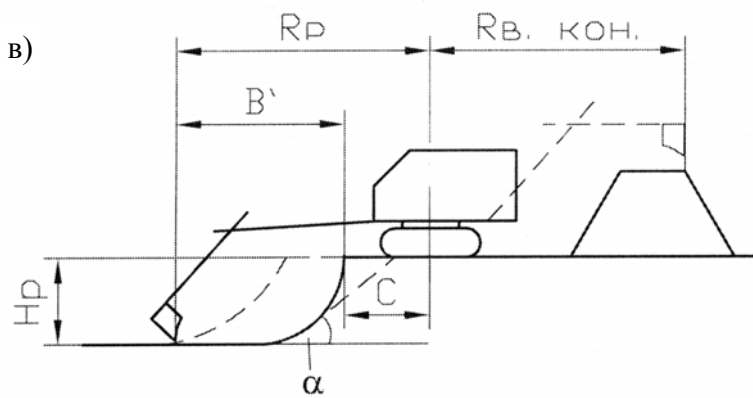
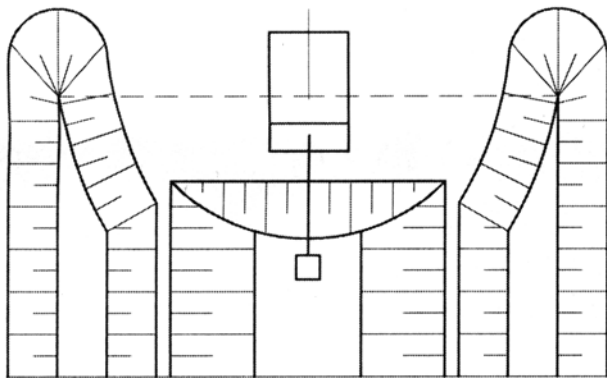
$R_{p.max}$ – радиус резания на уровне наибольшей глубины резания,

$H_{p.max}$ – наибольшая глубина резания (от поверхности земли до дна забоя).



$$V_{\max} \approx 1,2 \cdot R_{p\max} - \text{при работе на тракторе}$$

$$V_{\max} \approx 1,2 \cdot R_{p\max} - \text{при работе в отвал}$$



$$V_{\max} = 1,2 \cdot R_{p\max} - C$$

$$\alpha = \varphi \text{ (тип грунта)} \approx 60^\circ$$

Рис. 3.6. Параметры и схемы работы экскаватора обратная лопата
 а) основные параметры
 б) лобовой забой (разрез и план)
 в) боковой забой

(Последняя имеет два значения в зависимости от ширины разрабатываемой выемки: большее – при ширине выемки меньшей расстояния между гусеницами, меньшее – при более широких выемках).

$R_{в.нач.}; R_{в.кон.}$ – радиус выгрузки (начальный и конечный),

$H_{в.нач.}; H_{в.кон.}$ – высота выгрузки (начальная и конечная).

3.3.2. Схема работы экскаватора обратная лопата

Разработка грунта производится копанием «на себя». При этом стрела обратной лопаты, в отличие от прямой лопаты, поднимается и опускается при каждом черпании. Угол ее наклона к горизонту α изменяется от $+60^\circ$ до -40° .

Рабочий цикл:

1. Копание «на себя» под действием тягового каната или гидроцилиндра управления рукоятью. Напорное движение за счет веса стрелы (при полупассивном приводе) или гидроцилиндра управления стрелой.

2. Поворот на выгрузку – подъемным канатом или гидроцилиндром подъема стрелы ковш поднимается в верхнее положение. Одновременно совершается поворот.

3. Разгрузка ковша происходит подъемом вверх стрелы и одновременном повороте рукояти вперед. Так как крутизна наклона днища ковша увеличивается постепенно, то выгрузка происходит не в одной точке, а на некотором отрезке. При этом одновременно изменяется как радиус выгрузки, так и высота выгрузки.

4. Возвращение к месту копания. Тяговый канат отпускается, включается подъемная лебедка, и ковш ложится зубьями на грунт.

Разработка грунта ведется или лобовым забоем, или боковым.

При любом забое (рис. 3.6 б) экскаватор перемещается по оси выемки и отсыпает грунт на транспорт или отвал. Такой способ применяется при разработке траншей, узких каналов и котлованов. В связных грунтах откосы выемок очень крутые, вплоть до вертикальных.

Наименьшая ширина траншеи равна ширине ковша.

$$B_{\min} = B_{\text{ковша}} \quad (3.12)$$

Наибольшая возможная ширина выемки зависит от размещения отвалов грунта (при работе в отвал) из условия равенства объема выемки – объему отвала.

$$B_{\max} = \varphi \text{ (размещения отвала или транспорта)}$$

При работе на транспорт

$$B_{\max} \approx 1,6 R_{\max} \quad (3.13)$$

Для получения более ровной поверхности откосов и для устройств траншей с малой шириной по дну применяются специальные ковши.

Выемки большой ширины ($B > 1,6 R_{\max}$) разрабатывают боковым забоем (рис. 3.6 в). В этом случае обратная лопата размещается и передвигается сбоку от выемки, отсыпая грунт в односторонний отвал или в транспортные средства. При очень больших размерах выемки разработка ведется за несколько проходов.

3.4. Технология производства работ экскаваторами – драглайн

3.4.1. Область применения

Предназначен для разработки грунта ниже уровня стоянки и из-под воды.

Ковш гибко связан со стрелой с помощью каната.

При q_k 4.0-4.3 – на гусеничном ходу.

При емкости ковша q_k 4-25 м³ – шагающие экскаваторы.

Очень эффективен при работе в отвале. Параметры даны на рис. 3.7.

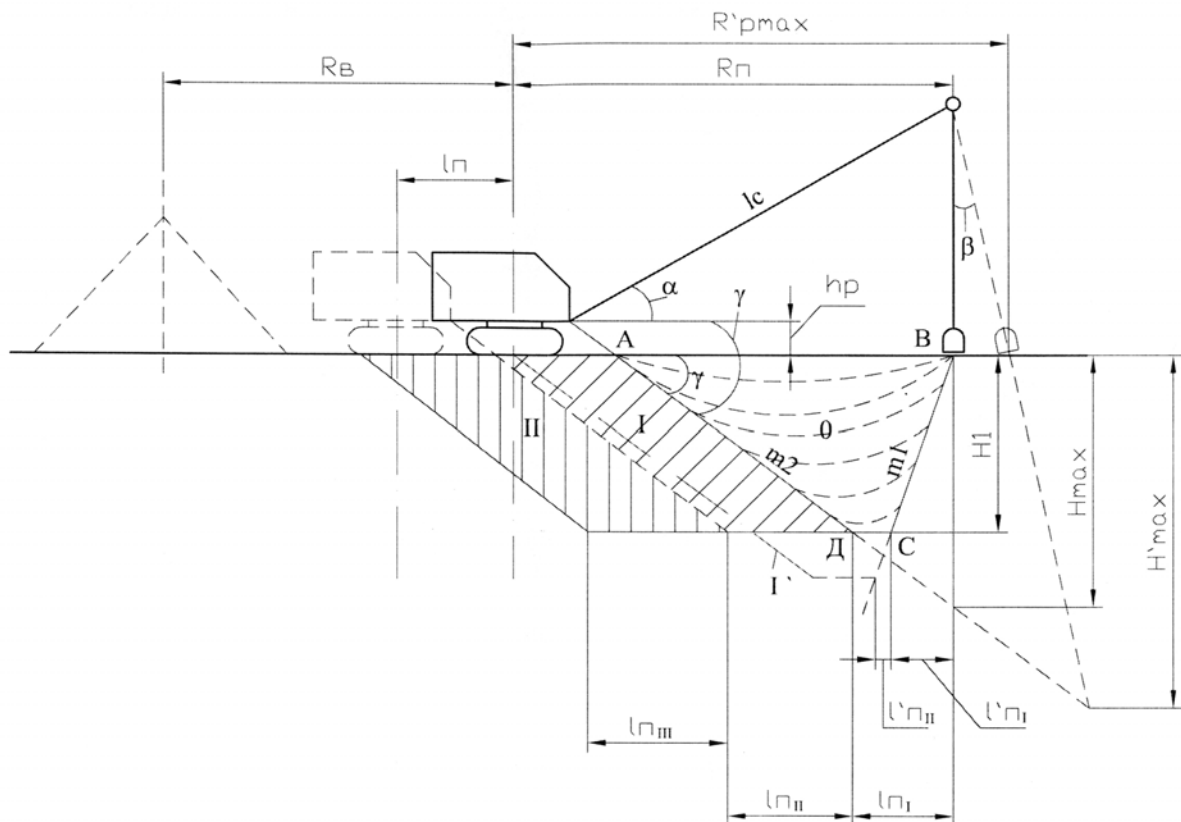


Рис. 3.7. Схема последовательности разработки забоя экскаватором-драглайн
 I – разработка забоя с первой стоянки
 II-III – последовательность разработки забоя без заглубления (на уровне 0 забоя)
 l_{nI} – длина первой передвижки при работе без заглубления
 $l_{nII} = l_{nIII}$ – то же для II и III передвижки
 IV – контур разработки при работе с заглублением
 l_{nI} – длина первой передвижки при работе с заглублением
 l_{nII} – длина второй передвижки

3.4.2. Схема работы. Параметры забоя

Ковш опускается на грунт, включается тяговый барабан и ковш под действием собственного веса и тягового каната заглубляется в землю и перемещаясь, постепенно наполняется.

После наполнения ковша включается подъемный барабан, и ковш отрывается от земли. На разгрузке тяговый трос ослабляется, и ковш под действием собственного веса опрокидывается.

Последовательность разработки забоя такова (рис. 3.7): с первой стоянки драглайн разрабатывает элемент забоя в форме ABCD. Наклон линии BC = $m_1 = \varphi$ (вид грунта) ($\alpha = 45^\circ$ – легкий грунт, 40° – средний, 30° – тяжелый).

$$AB = l_i \cdot \cos\alpha - h_n \cdot \operatorname{Ctg}\gamma = l_i \cdot \cos\alpha - h_n \cdot m_2 \quad (3.14)$$

$DC_{min} = l_k$ – длина ковша

$H_I = \varphi(l_c, \alpha, \gamma, \beta) = \varphi(l_c, m_1, m_2)$ – из геометрической схемы забоя.

Наклон линии AD – $m_2 (\gamma) = \varphi$ (вида грунта) (песок – $\gamma = 40-45^\circ$, глина – $\gamma = 20-30^\circ$).

После разработки 1-го элемента экскаватор перемещается на длину передвижки l_n .

При дальнейшей необходимости углубления забоя ковш должен опуститься в точку C, тогда

$$l_n = m'n. \quad (3.15)$$

Если углубление не требуется, то ковш должен опуститься в точку D , тогда

$$I'_n = m'n + DC. \quad (3.16)$$

При последующих передвижках и работе без заброса

$$H_{\max.} = l_c \cdot \cos\alpha \cdot \operatorname{tg}\gamma - h_n. \quad (3.17)$$

При средних значениях $\alpha \approx \gamma = 30^\circ$ имеем $H_{\max.} \approx 0,37 \cdot l_c$.

При работе с забросом $H_{\max.} \approx (0,5 - 0,6) l_c$.

3.4.3. Забой экскаватора – драглайн

Также как и при другом оборудовании, экскаватор – драглайн производит выемки боковым и лобовым забоями.

При боковом забое экскаватор перемещается по бровке выемки. Параметры забоя определяются исходя из описанного выше для 1-ой стоянки.

При лобовом забое экскаватор идет по оси выемки и разрабатывает грунт на себя. При этом может быть достигнут $H_{\max.}$.

В зависимости от конкретных условий выемки, транспортировки и размеров выемки могут применяться и более сложные схемы забоев:

- продольно-лобовыми ходами,
- поперечно-лобовыми ходами,
- челночная схема,
- поперечно-челночная схема и другие.

3.5. Технология производства работ экскаватором – грейфером

Область применения – для разработки грунта выше и ниже уровня стоянки. Особенное распространение получил на погрузочно-разгрузочных работах.

Оборудован специальными ковшами (2-х, 3–4-х и даже 12 лепестковыми).

Ковш грейфера набирает грунт с площади приблизительно равной площади раскрытия ковша в плане. Эта особенность позволяет использовать экскаваторы с грейферными ковшами для устройства малых по площади, но глубоких выемок (траншеи, шахты, малые котлованы).

Ковш грейфера врезается в грунт только под действием собственного веса, поэтому грейферный ковш тяжелый и имеет наибольшую массу, приходящуюся на единицу емкости ковша.

Схема у грейферов та же, что и у драглайна. Глубина копания (резания) зависит от канатоемкости барабанов лебедок.

В ГТС – грейфер вспомогательный механизм и применяется для разработки глубоких колодцев, узких траншей и котлованов, для выемки грунта из-под воды.

3.6. Производительности экскаваторов

Для определения производительности экскаваторов воспользуемся общими формулами для определения производительности машин циклического действия (см. Тему 2).

$$P'_ч = q_ц \cdot n_ц \cdot k_в$$

$$n_ц = \frac{P_в}{t_ц} \quad (3.10)$$

$$q_ц = q'_ц \cdot k_з = q_k \cdot k_з,$$

$$k_3 = \frac{k_n}{k_p}$$

где q_u – фактический объем грунта в ковше экскаватора,

n_u – число циклов в час,

t_u – продолжительность рабочего цикла,

A – переходный коэффициент, равный 3600, 60, 1 – соответственно при определении времени цикла t_u в сек, мин, часах. Для экскаватора обычно t_u определяют в сек. Тогда

$$A = 3600 \text{ и } n_u = \frac{3600}{t_u},$$

k_e – коэффициент использования внутрисменного рабочего времени,

q_k – геометрическая емкость ковша экскаватора,

k_3 – коэффициент загрузки ковша экскаватора,

k_n – коэффициент наполнения ковша,

k_p – коэффициент разрыхления грунта.

Раскроем значения некоторых из этих параметров.

Коэффициент использования внутрисменного рабочего времени по опыту эксплуатации равен $k_e \geq 0,85$ при работе в отвал, $k_e \geq 0,75$ при работе на транспорт.

Коэффициент наполнения ковша

$$k_n = \varphi (\text{типа и категории грунта, типа экскаватора}). \quad (3.11)$$

При разработке рыхлых грунтов прямой лопатой $k_n = 0,95 - 1,5$; драглайном – $k_n = 0,8 - 1,3$; грейфером – $k_n = 0,6 - 1,0$. При разработке плохо взорванной скалы $k_n = (0,75 - 0,9)$, $(0,55 - 0,8)$, $(0,3 - 0,4)$ соответственно для прямой лопаты, драглайна, грейфера.

Коэффициент разрыхления грунта

$$k_p = \varphi (\text{тип и категория грунта}) \approx 1,1 \div 1,5. \quad (3.12)$$

Время рабочего цикла $t_u = \varphi (q, \text{условий работы})$,

Рабочий цикл t_u экскаватора включает: копание, поворот, выгрузку, обратный поворот

$$t_u = t_{\text{коп.}} + t_{\text{пов.}} + t_{\text{выгр.}} + t_{\text{возвр.}} + t_{\text{ожид.тр-та}} = \varphi \quad (3.13)$$

(q_k , катег. грунтов, $\alpha_{\text{пов.}}$, $N_{\text{транш.}}$, k_y)

$$t_{\text{коп.}} = \varphi \quad (3.14)$$

(q_k , скорости движения ковша, квалификации машиниста) = $\varphi (q_k, V_k, k_y)$

$$V_k = 0,75 - 1,0 \text{ м/с}$$

$$t_{\text{пов.}} = \varphi (\alpha_{\text{пов.}}). \quad (3.15)$$

Каждый градус угла поворота увеличивает t_u на 1%, поэтому рационально работать при $\alpha_{\text{мин.}} \leq 90^\circ$.

$$t_{\text{выгр.}} = \varphi (q_k, \text{констр. ковша}, W) = 1 - 3 \text{ с.} \quad (3.16)$$

Большое влияние на t_u оказывают условия работы машиниста, поэтому для увеличения производительности требуется улучшение конструкции экскаваторов и улучшение эргономических требований (k_y).

В целом t_u при $\alpha_{\text{пов.}} = 90^\circ$ равно $t_u = 15 - 30 \text{ с}$, в зависимости от типа экскаватора и условий выгрузки. Для драглайна $t_u \approx 15 - 40 \text{ с}$. Для грейфера $t_u \approx 15 - 25 \text{ с}$.

Общая производительность при погрузке на транспорт колеблется в пределах 70 – 100 м³/час на 1 м³ емкости ковша для I категории грунта и 35 – 50 м³/час для IV категории.

При определении эксплуатационной производительности за более длительный период требуется определить расчетное число рабочего времени за расчетный период, исходя из годового режима работы экскаватора $T^p_{ч.год}$.

$$\Pi_{мес.} = \Pi_{час} \cdot T^p_{ч.мес.} \quad (3.17)$$

$$\Pi_{год} = \Pi_{час} \cdot T^p_{ч.год}$$

$T^p_{ч.год} = \varphi$ (температурных зон, типа экскаватора).

По результатам расчетов и опытным данным для экскаваторов $T^p_{ч.год} \approx 3500 - 2500$ ч.

При отсутствии или недостаточности исходных данных для определения $T^p_{ч}$ и использовании $K^k_{н.год}$ – коэффициента использования календарного времени года

$$\Pi_{год} = \Pi_{ч} \cdot T^k_{ч.год} \cdot K^k_{н.год} \quad (3.18)$$

Для экскаваторов $K^k_{н.год} \approx 0,38 - 0,33$ ($\approx 0,4 - 0,3$) в зависимости от температурных зон.

При работе экскаватора на транспорт существенное влияние оказывают условия погрузки, число и емкость транспортных средств. Производительность увеличивается при увеличении емкости транспорта, сокращении интервалов в подаче транспорта ($t_{ожид.}$).

Наиболее эффективна работа экскаватора на транспорт, когда вместимость транспортной единицы в 4-5 раз больше емкости ковша экскаватора. Интервалы в подаче транспорта также существенно влияют на производительность, особенно для больших емкостей транспорта.

Тема 4. Технология производства земляных работ землеройно-транспортными машинами

4.1. Виды землеройно-транспортных машин

Землеройно-транспортными машинами называются такие, у которых рабочий орган при наборе грунта перемещается одновременно с движением машины, т.е. машина одновременно разрабатывает и транспортирует грунт. Это: скреперы, бульдозеры, грейдеры.

Преимущества:

- более высокая производительность на 1 т. веса (меньшая металлоемкость),
 $P_{удельн.} = 4,6 \text{ м}^3/\text{час}$ на 1 т. веса, а у ЭШ 4/40 $P_{уд.} = 2,3 \text{ м}^3/\text{час}$ на 1 т. веса
- не требует устройства специальных грунтовых дорог,
- не требует транспорта.

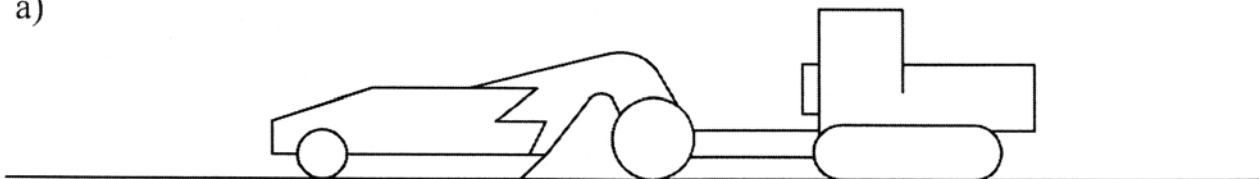
Недостатки:

- невозможность работы в глубоких и небольших в плане котлованах сложной формы,
- относительно небольшая дальность перемещения (с точки зрения экономики),
- невозможность работы в обводненных выемках.

4.2. Технология производства земляных работ скреперами

1. *Типы скреперов.* Схема скрепера дана на рис. 4.1. Основным рабочим органом скрепера является открытый сверху и спереди кузов-ковш, шарнирно-подвешенный к раме, имеющей одну или две пары колес и передвигающейся с помощью тягача.

а)



б)



Рис. 4.1. Типы скреперов

а) прицепной

б) самоходный

В качестве тягача может быть собственный тягач – самоходный скрепер или сторонний тягач – трактор.

2. *Технология работ.* Во время движения скрепера ковш опускается, врезается ножом в грунт и заполняется. После наполнения ковш приподнимается и транспортируется к месту выгрузки. Разгружается ковш опрокидыванием вперед или назад (свободная выгрузка), или посредством специальных приспособлений (принудительная выгрузка). Высыпавшийся грунт разравнивается ножом.

Различают скреперы малой (до 3 м^3), средней ($3-10 \text{ м}^3$) и большой (более 10 м^3) емкости.

Набор грунта скрепером можно вести только на прямом участке. Минимальная длина прямого участка (рис. 4.2).

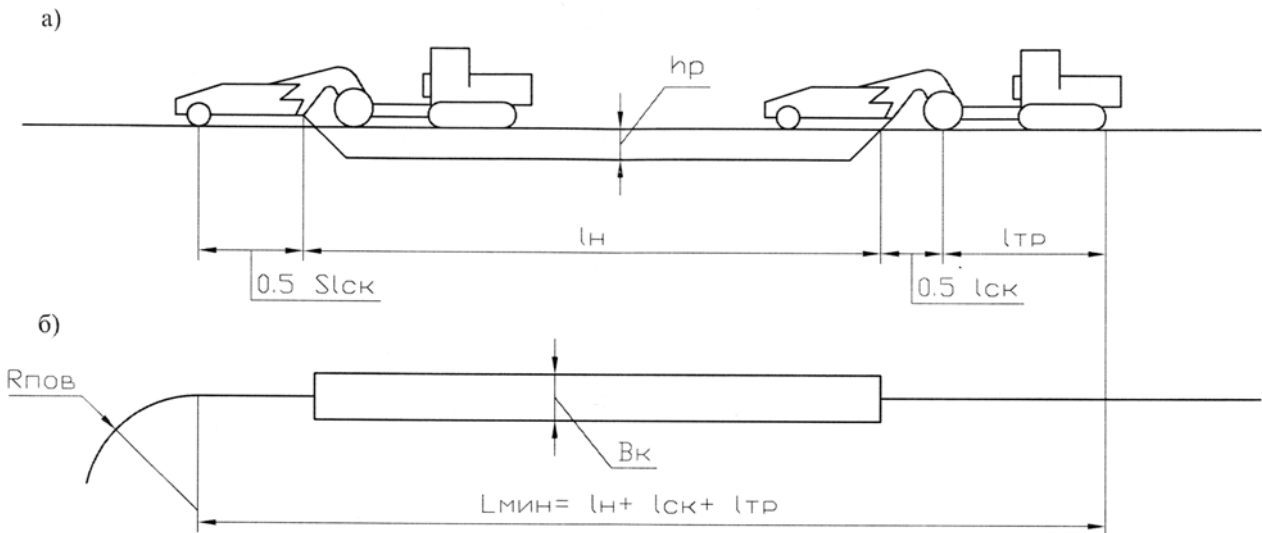


Рис. 4.2. Схема рабочего забоя скрепера
 а) вертикальный
 б) план

$L_{ск}$ – длина скрепера
 L_n – длина пути набора грунта
 $L_{тр}$ – длина трактора (тягача)

$$L_{пр.мин} = L_n + L_{ск} + L_{тр}$$

где l_n – длина участка наполнения ковша, которая определяется из условия $q_k = F_{сеч} \cdot l_n \cdot k_z$,
 $F_{сеч} = h_p \cdot v_k$,
 $l_{ск}$ – длина скрепера,
 $l_{тр}$ – длина тягача.

Длина участка наполнения ковша определяется из условия полного наполнения ковша на прямолинейном участке $q_l = F_{сеч} \cdot l_n \cdot k_z$, $F_{сеч} = h_p \cdot B_k$.

$$l_n = \frac{q_k}{h_p B_k k_h k_p} \frac{K_n}{K_p} \quad (4.1)$$

где: q_k – геометрическая емкость ковша,
 h_p – толщина стружки срезания = 0,08-0,25 = (φ типа грунта),
 v_k – ширина ковша (2-3 м) = φ (q_k),
 k_h – коэффициент неравномерной толщины стружки (≈ 0,7),
 k_n – коэффициент наполнения ковша
 k_p – коэффициент разрыхления грунта = φ (тип грунта),
 k_n – коэффициент потерь грунта при наборе (≈ 1,2),
 $l_n = φ(q_k, l \text{ типа грунта}, h_p) = 15-70 \text{ м}$,
 $l_{опр.} = φ(q_k) = 5-13 \text{ м}$,
 $h_{р.макс.} \approx 0,15-0,35$,
 $h_{ф.ср.} = 0,12-0,25$ – суж.
 0,10-0,20 – с/м. суж.
 0,08-0,12 – тяж. суж.

Длина участка выгрузки (разгрузки)

$$Z_{выгр.} = \frac{q}{h_{отс.Вк}} K_n = (4 - 24 \text{ м}) \quad (4.2)$$

$h_{отс.}$ – толщина слоя отсыпки ≈ 0,35 – 0,5 м.

Резание грунта может производиться по нескольким схемам:

- с постоянной толщиной стружки;
- с переменной (клиновидной) толщиной;
- «гребенчатая»,
- «клевками».

Предельные уклоны движения могут быть найдены исходя из равенства тягового сопротивления силы тяги на крюке. Примерно они равны 0,12-0,15 – для подъема в груженом направлении; 0,1-0,3 – для .

Общая схема движения скрепера по циклу – разработка-выгрузка зависит от размеров выемки и насыпи и дальности транспортировки. В основном, применяется 2 схемы – продольная и поперечная.

При этом могут быть следующие разновидности движения скреперов (рис.4.3):

- а) кольцевая,
- б) по восьмерке,
- в) по змейке,
- г) продольно-челночная,
- д) поперечно-челночная,
- е) спиральная.

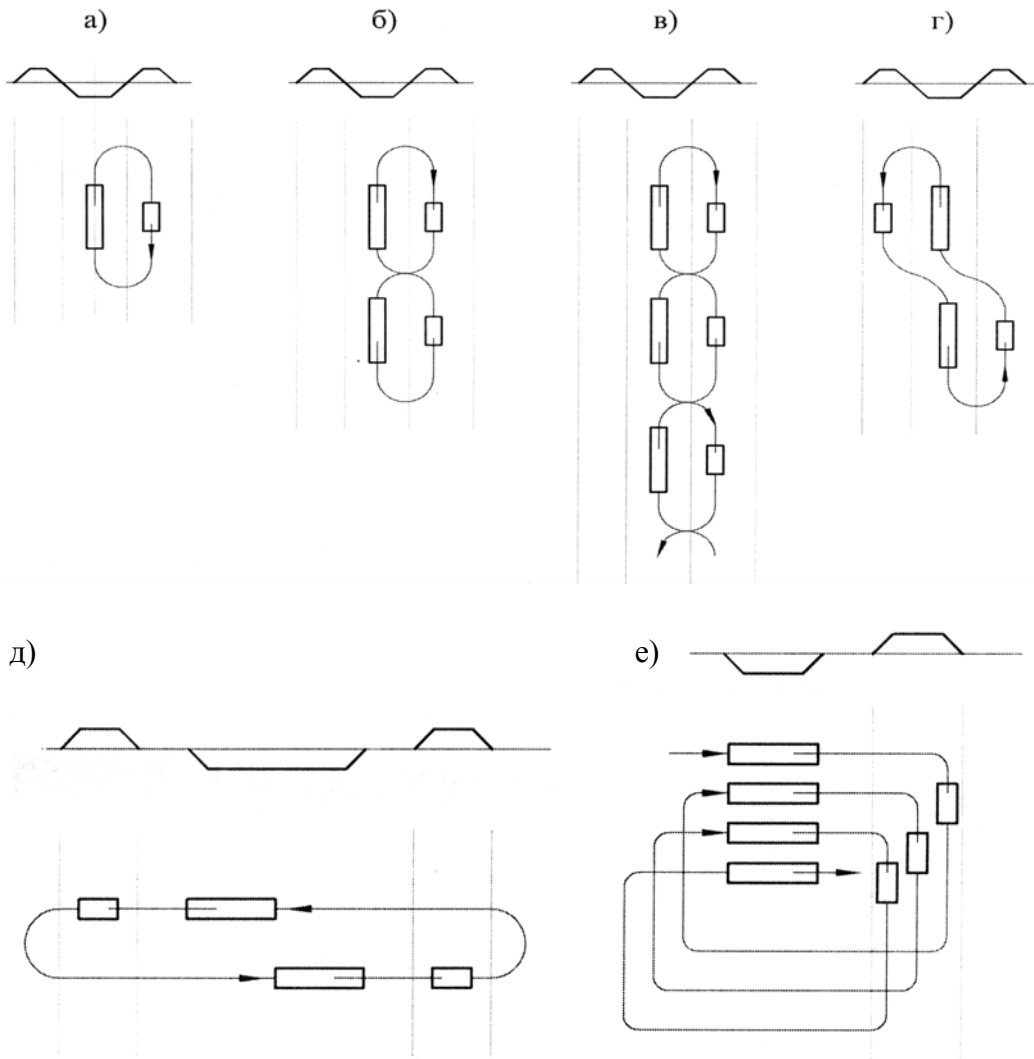


Рис. 4.3. Схемы движения скреперов

- а) кольцевая, б) по восьмерке, в) по змейке,
- г) продольно-челночная, д) поперечно-челночная, е) спиральная.

Выбор типа и мощности скрепера зависит от объемов работ, габаритов выемки и условий работ (уклоны местности, возможность маневрирования).

Дальность возки (экономически выгодная):

400-800 м – для прицепных скреперов,

до 3000 м – для самоходных скреперов,

> 3000 м – быстросходные самоходные скрепера.

3. *Производительность скрепера*

$$\Pi^3_{\text{ч}} = q_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}} \cdot K_{\text{в}} = q^1_{\text{ц}} \cdot K_3 \cdot n_{\text{ц}} \cdot K_{\text{в}}$$

$$q_{\text{ц}} = q^1_{\text{ц}} \cdot K_3$$

$$q^1_{\text{ц}} = q_{\text{к}} - \text{геометрическая емкость ковша} \quad (4.3)$$

$$K_3 = \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{р}}} - \text{коэффициент загрузки и потерь}$$

$K_{\text{н}}, K_{\text{р}} = \varphi$ (типа грунта)

$$n_{\text{ц}} = \frac{3600}{t_{\text{ц}}}$$

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{коп.}} + t_{\text{гр.}} + t_{\text{разгр.}} + t_{\text{повр.}} + t_{\text{доп.}} \quad (4.4)$$

$$t_{\text{коп.}} = \frac{l_{\text{н}}}{V_{\text{к.ср.}}}$$

$$t_{\text{гр.}} = \frac{l_{\text{гр.}}}{V_{\text{т.ср.}}}$$

$$t_{\text{пор.}} = \frac{l_{\text{пор.}}}{V_{\text{пор.}}}$$

$$t_{\text{разр.}} = \frac{l_{\text{разр.}}}{V_{\text{р.ср.}}}$$

$t_{\text{доп.}} \approx 60 \text{ с}$ – дополнительное время на поворот, переключение передач и т.д.

$$K_{\text{в}} \approx 0,8 \div 0,9$$

В итоге

$$\Pi^3_{\text{ч}} = q_{\text{к}} \cdot \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{р}}} \cdot K_{\text{п}} \cdot \frac{3600}{t_{\text{ц}}} \quad (4.5)$$

$$\Pi^3_{\text{год}} = \Pi^3_{\text{ч}} \cdot T^{\text{р}}_{\text{ч.год}} \quad \text{или} \quad \Pi^3_{\text{год}} = \Pi^3_{\text{ч}} \cdot T^{\text{к}}_{\text{ч.год}} \cdot K^{\text{к}}_{\text{н}} \quad (4.6)$$

$T^{\text{р}}_{\text{ч.год}}$ – годовое число расчетных часов работы машины, определяемых по годовому режиму работы = φ (температурных зон).

При нормальном режиме по данным расчетов и опытным данным $T^{\text{р}}_{\text{ч.год}} = 2890 \div 1705 \text{ ч}$ ($\approx 2900 - 1700$)

$$K^{\text{к}}_{\text{н}} = 0,34 - 0,2$$

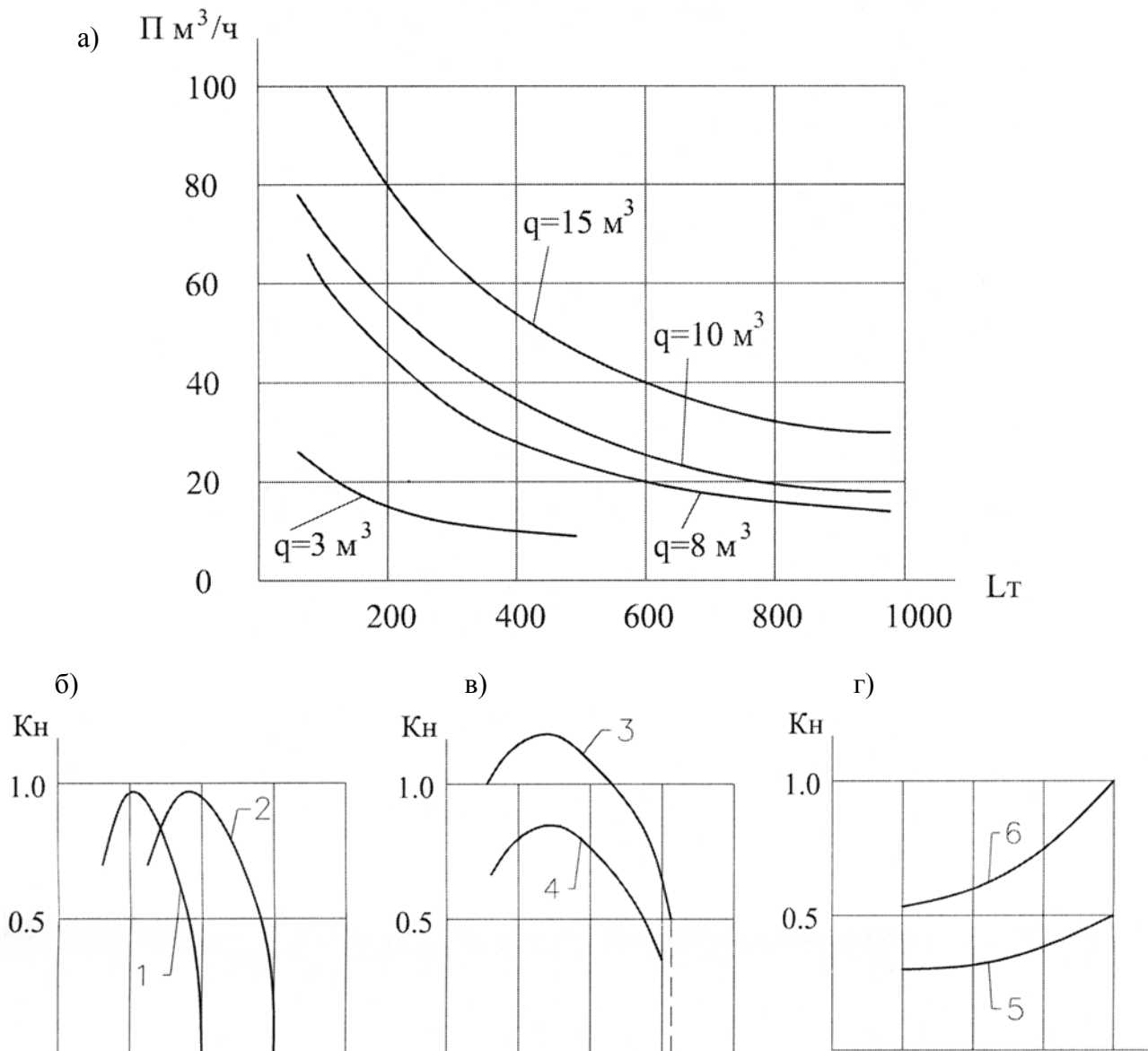


Рис. 4.4. Влияние различных факторов на производительность скреперов

а) Влияние емкости ковша и дальности возки

б) Влияние влажности на K_n для различных грунтов ($q = 6 \text{ м}^3$)

в) Влияние «толкача» на K_n

г) Влияние толщины окружности на K_n ($q_n = 6 \text{ м}^3$)

1 – песок

2 – суглинок

3 – с толкачом

4 – без толкача

5 – грунты I группы (пески)

6 – грунты II группы (суглинки, глины)

В целом $\Pi = \varphi(q_k, l_n, l_{разр.}, L_{тр.}, K_n, K_p, h_n, \text{типа грунта})$ (рис. 4.4)

$K_n = \varphi(W, \text{свойства грунта})$

(4.6)

4. Пути повышения производительности:

– набор грунта с толкачом (увеличивается K_n),

– набор грунта под уклон (уменьшается t_u),

– набор «уступами» (уменьшается l_k , а следовательно t_u).

Область применения: для разработки котлованов и выемок больших размеров и отсыпки насыпей.

4.3. Технология производства земляных работ бульдозерами

Схема бульдозера дана на рис. 4.5 а,б.

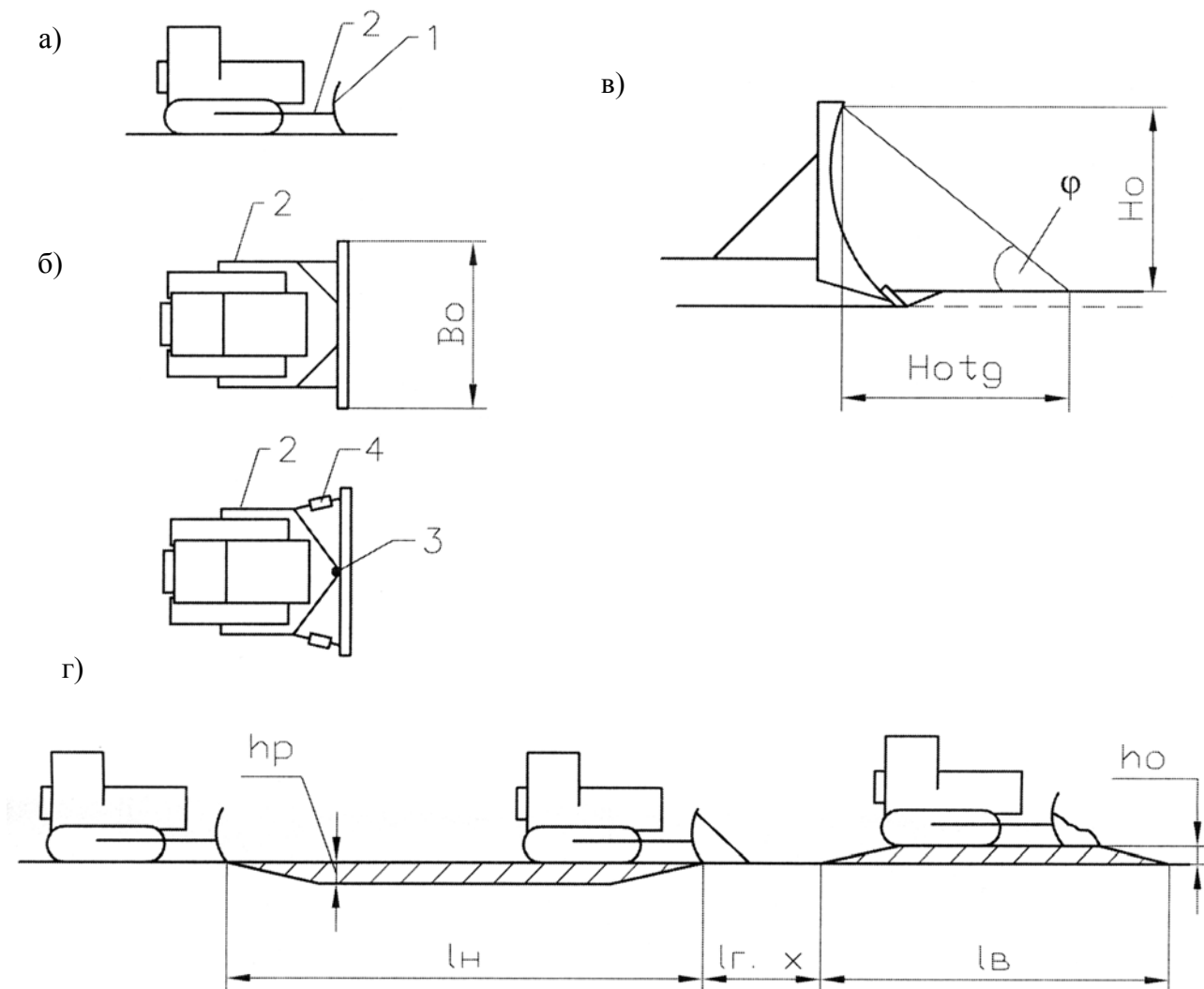


Рис. 4.5. Параметры бульдозера и схема его работы

а) Схема бульдозера с неповоротным отвалом

б) Схема бульдозера с поворотным отвалом

г) Схема отвала с грунтом

1 – Отвал с ножом

2 – Рама

3 – Шаровой шарнир

4 – Гидроцилиндры

L_n – длина пути наполнения отвала (пути резания)

L_{gx} – длина груженого хода

L_b – длина выгрузки

Рабочее оборудование бульдозера – отвал с ножом на базе трактора.

Различают бульдозеры с поворотными ($\beta = 65^\circ$, $\gamma = 8^\circ$) и не поворотными отвалами.

Рабочий процесс включает:

– резание, транспорт, выгрузка, порожний ход, маневрирование.

$$t_{ц} = t_{рез.} + t_{тр.} + t_{выгр.} + t_{пор.} + t_{ман.} \quad (4.7)$$

Объем грунта перед отвалом

$$q_k = F_{сеч} \cdot B_o \sin \beta \cdot k_3 \quad (4.8)$$

$$F_{сеч} = \frac{H^2}{2 \operatorname{tg} \varphi}$$

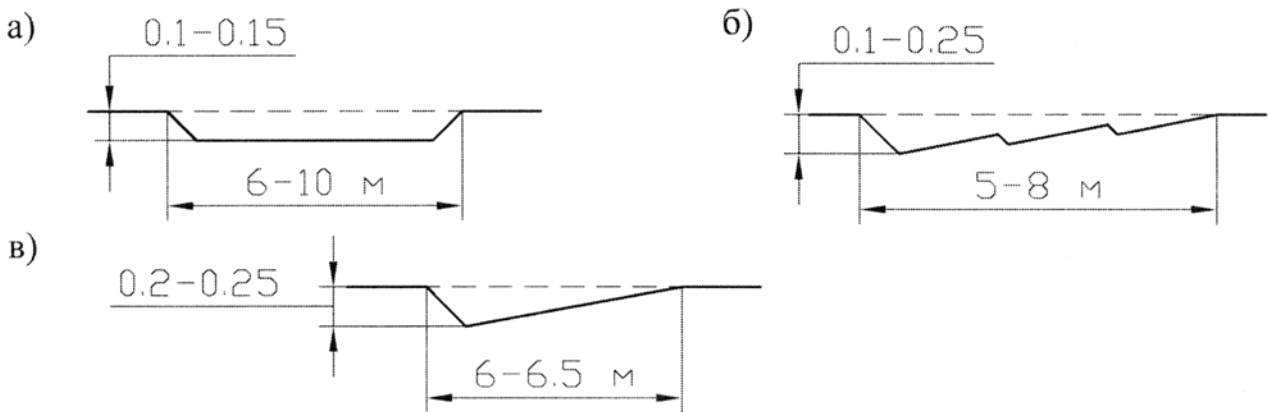
где $F_{сеч}$ – площадь поперечного сечения грунта перед отвалом,
 B_o – ширина отвала,
 Отсюда длина участка наполнения

$$l_n = \frac{q_k k_3}{h_p k_h B_o (\sin \beta)} \quad (4.9)$$

$$k_3 = \frac{k_n}{k_p} (1 - k_n) k_i$$

где: q_k – геометрическая емкость призмы,
 h_p – глубина резания (толщина стружки резания),
 k_h – к-нт неравномерности толщины резания,
 B_o – ширина ковша,
 β – угол разворота ковша,
 k_n – к-нт потерь грунта в боковые выемки,
 k_i – к-нт, учитывающий уклон поверхности.

Схемы резки стружки – такие же, как у скрепера (рис. 4.6): постоянной толщины, клином, клевками, гребенкой.



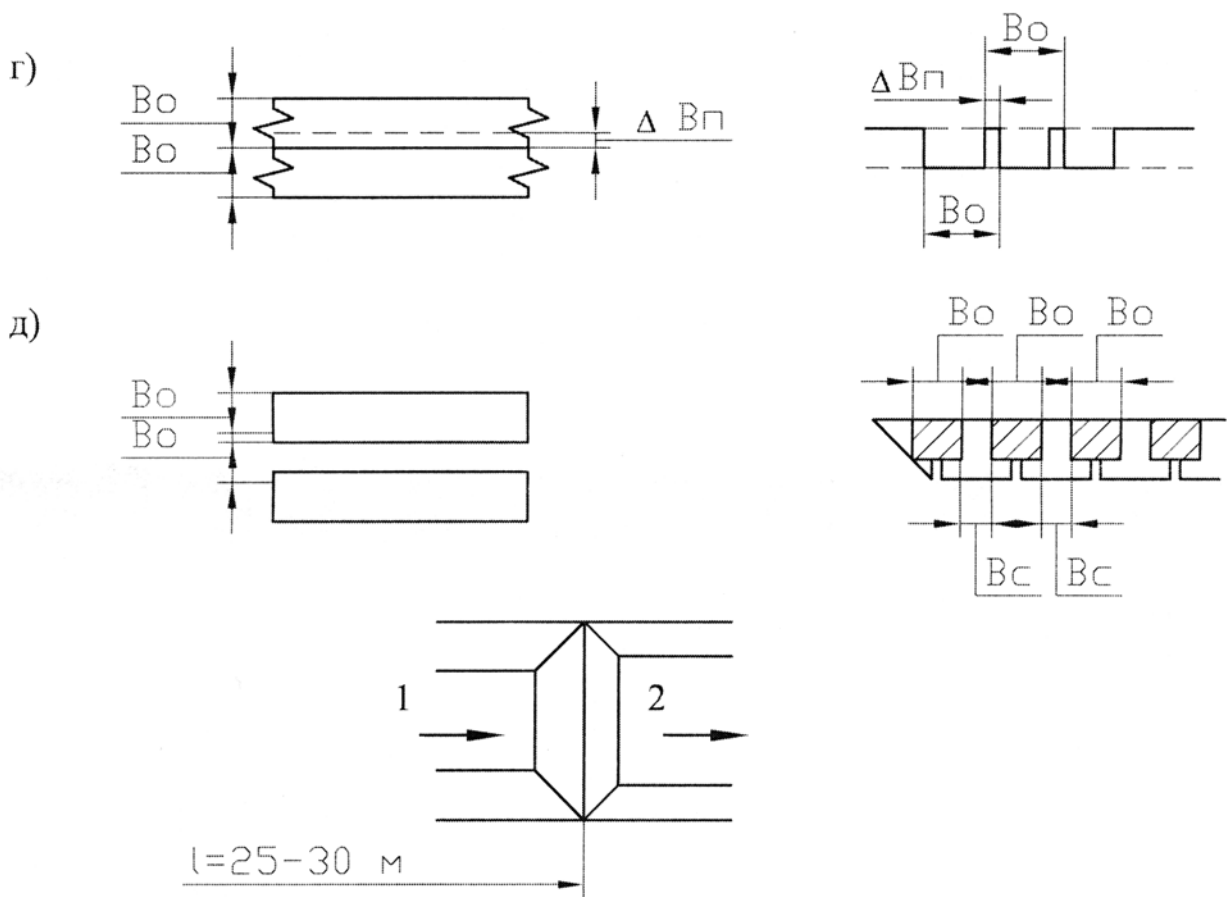


Рис. 4.6. Схемы резания (а, б, в) и схемы разработки бульдозером (г, д, е)
 а) с постоянной толщиной стружки
 б) гребенчатая
 в) клиновья
 г) полосовая
 д) траншейная
 е) с промежуточным валом

B_o – ширина отвала
 ΔB_{Π} – размер «перехлеста»
 B_c – ширина стенки

Схемы разработки (рис. 4.6 г, д):

- продольная,
- поперечная.

Схемы отсыпки:

- горизонтальными слоями,
- наклонными слоями.

Производительность: по аналогии со скрепером.

$$\Pi_{\text{ч}}^{\text{э}} = q_{\text{ц}} \cdot n_{\text{ц}} \cdot k_{\text{в}} = q_{\text{к}} \cdot k_{\text{з}} \cdot \frac{3600}{t_{\text{ц}}} \cdot k_{\text{в}} \quad (4.10)$$

$$q_{\text{ц}} = q_{\text{к}} k_{\text{з}} = q_0 \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{р}}} (1 - K_{\text{п}}) k_{\text{и}}$$

$K_{\text{н}}$ – коэффициент потерь = φ ($L_{\text{тр}}$ и вида грунта) Приблизительно

$$K_n = 1 - Z l_T = 1 - 1/l_{\text{тр.пред.}} \cdot Z_{\text{тр.}}$$

Z – опытный коэффициент (0,008 – 0,004),

l_m – длина пути транспортирования, $l_{m.\text{эфф.}} \approx 15 - 20$ м.

$l_{\text{тр. пред.}}$ – предельная длина транспортирования при которой грунт теряется полностью.

при $Z_{\text{тр.}} = l_{\text{пред.}} k_n = 1$

$l_{\text{пр.}} \approx 25$ м – для сыпучих грунтов,

$l_{\text{пр.}} \approx 125$ м – для связных грунтов.

$$П_{\text{год}} = П_{\text{ч}} \cdot T_{\text{ч.год}}^p = П_{\text{ч}} \cdot T_{\text{ч.год}}^k \cdot K_{\text{н.год}}^k$$

$$T_{\text{ч.год}}^p = \varphi(t_{\text{зон.}}) \approx 3400 - 3000$$

$$K_{\text{н.год}}^k = 0,39 \div 0,34$$

Пути повышения производительности бульдозеров

Основная причина снижения производительности – потери.

Для уменьшения потерь и повышения K_n применяются:

- боковые открьлки,
- козырьки,
- уширители отвалов ($\rightarrow Z$ до 70 м),
- работа в траншее (рис. 4.6 д),
- работа с промежуточным валом (рис. 4.6 е),
- работа спаренными бульдозерами,
- перемещение грунта по траншее,
- резание грунта боковой кромкой,
- гребенчатое резание грунта.

Область применения (самостоятельно):

- разработка выемок до 2-х м,
- вскрышные работы,
- культурно-технические работы,
- планировка площадей и откосов с заложением до 1:1,75,
- обратные засыпки.

В комплексе с другими машинами:

- работа в забоях с экскаваторами,
- разравнивание грунта в насыпях.