

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

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

**Кафедра «Детали машин, путевые и строительные машины»**

**Е. М. МАСЛОВСКАЯ, М. М. ГАРОСТ, М. А. МАСЛОВСКАЯ**

# **КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ ЭКСКАВАТОРНЫХ РАБОТ**

**Учебно-методическое пособие**

**Гомель 2017**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Детали машин, путевые и строительные машины»

Е. М. МАСЛОВСКАЯ, М. М. ГАРОСТ, М. А. МАСЛОВСКАЯ

# КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ ЭКСКАВАТОРНЫХ РАБОТ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию в области транспорта и транспортной деятельности в качестве учебно-методического пособия для студентов учреждений высшего образования специальности 1-37 02 03 «Техническая эксплуатация погрузочно-разгрузочных, путевых, дорожно-строительных машин и оборудования» первой ступени обучения*

Гомель 2017

УДК 624.132.3: 621.879(075.8)  
ББК 38.623  
М31

Рецензенты: начальник отдела механизации и энергетики РУП «Гомельавтодор» *А.Н. Царенков*; зав. кафедрой лесных дорог и организации вывозки древесины Учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» канд. техн. наук, доцент *М.Т. Насковец*

**Масловская, Е. М.**

М31      Комплексная механизация экскаваторных работ : учеб.-метод. пособие / Е. М. Масловская, М. М. Гарост, М. А. Масловская ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 135 с.  
ISBN 978-985-554-636-9

Изложены теоретические основы механизации земляных работ с учетом современных достижений науки и техники в области комплексной механизации дорожного строительства. Даны рекомендации по выбору типа рабочего оборудования и марки экскаватора, схем производства земляных работ, определению оптимального комплекта машин, приведена методика расчета оптимальной грузоподъемности автосамосвалов и их числа в экскаваторном комплекте.

Предназначено для проведения практических занятий и дипломного проектирования для студентов специальности 1-37 02 03 «Техническая эксплуатация погрузочно-разгрузочных, путевых, дорожно-строительных машин и оборудования».

**УДК 624.132.3: 621.879(075.8)**  
**ББК 38.623**

**ISBN 978-985-554-636-9** © Масловская Е.М., Гарост М.М., Масловская М.А., 2017  
© Оформление. БелГУТ, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ ЭКСКАВАТОРНЫХ РАБОТ .....	6
1.1 Общие сведения об одноковшовых экскаваторах .....	6
1.1.1 Система индексации (маркировки) одноковшовых .....	9
1.1.2 Конструкции экскаваторов с различным видом рабочего оборудования.....	12
1.2 Выбор типа рабочего оборудования и марки экскаватора.....	14
1.3 Выбор схемы производства земляных работ .....	18
1.4 Общие сведения о многоковшовых экскаваторах.....	19
1.4.1 Система индексации (маркировки) многоковшовых экскаваторов .....	20
1.4.2 Конструкция роторного стрелового экскаватора.....	21
1.5 Выбор транспортных средств.....	21
1.6 Формирование состава экскаваторного комплекта машин .....	22
2 ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСКАВАТОРНЫХ РАБОТ .....	41
2.1 Проектирование забоев экскаватора.....	41
2.1.1 Забои прямой лопаты .....	41
2.1.2 Забои обратной лопаты .....	45
2.1.3 Забои драглайна .....	50
2.1.4 Забои роторного экскаватора .....	53
2.2 Составление технологической карты экскаваторных работ.....	55
2.3 Особенности технологии работ по разработке выемки экскаваторами .....	58
2.3.1 Особенности технологии работ по разработке выемки экскаватором прямой лопатой с перемещением грунта в насыпь автосамосвалами .....	58
2.3.2 Особенности технологии работ по разработке выемки экскаватором – обратной лопатой с перемещением грунта в насыпь автосамосвалами.....	59
2.3.3 Особенности технологии работ по разработке выемки с отвалом грунта в кавальер экскаватором – драглайном.....	60
2.3.4 Особенности технологии работ по разработке выемки экскаватором – драглайном с перемещением грунта в насыпь автосамосвалами.....	62
2.3.5 Особенности технологии работ по разработке выемки роторно-стрел- ковым экскаватором с перемещением грунта в насыпь автосамосва- лами .....	63
2.4 Разбивка экскаваторных проходок .....	65
2.4.1 Разбивка проходок экскаватора – прямая лопата .....	65
2.4.2 Разбивка проходок экскаватора – обратная лопата.....	67
2.4.3 Разбивка проходок экскаватора – драглайн .....	67
2.4.4 Разбивка проходок роторного экскаватора .....	69
2.5 Определение расхода топлива машинами для земляных работ .....	70
2.5.1 Методика определения расхода топлива дорожно-строительными машинами .....	70
2.6 Определение производительности экскаваторов.....	73
2.6.1 Определение производительности одноковшовых экскаваторов.....	73
2.6.2 Определение производительности многоковшовых экскаваторов .....	74
2.6.3 Основные направления повышения производительности экскаваторов ..	75

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКТА МАШИН И ЕГО РАБОТЫ .....	76
4 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ.....	77
4.1 Требования безопасности во время работы экскаваторов .....	77
4.2 Требования безопасности во время работы автогрейдеров .....	78
4.3 Требования безопасности во время работы катков .....	79
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	80
Приложение А. Технические характеристики дорожных машин .....	82
Приложение Б. Число смен в году работы машин для земляных работ .....	91
Приложение В. Рекомендуемый состав комплекта и комплексной бригады при разработке выемки с использованием экскаваторов с разным рабочим оборудованием .....	92
Приложение Г. Технологическая карта на устройство земляного полотна из привозного грунта .....	100
Приложение Д. Нормы расхода топлива .....	120
Приложение Е. Распределение грунтов на группы в зависимости от трудности их разработки.....	136

## ВВЕДЕНИЕ

При производстве земляных работ наиболее часто применяют экскаваторы. По принципу действия их делят на одноковшовые (циклического действия) и многоковшовые (непрерывного действия).

Преимуществом многоковшовых экскаваторов в сравнении с одноковшовыми является большой удельный вес времени, затрачиваемого на копанье грунта (90–93 % всего рабочего времени против 25–35 % у одноковшовых экскаваторов), поэтому их производительность выше.

Однако более распространенными являются одноковшовые экскаваторы благодаря своей универсальности, т.е. возможности применения не только на земляных, но и на погрузочно-разгрузочных и других видах работ.

Около 45 % всего объема земляных работ выполняется экскаваторами циклического действия. Поэтому вопросы рациональной организации земляных работ одноковшовыми экскаваторами с применением эффективных схем производства работ являются особенно актуальными.

В учебно-методическом пособии изложены технико-экономические основы комплексной механизации земляных работ, охватывающие вопросы оптимизации параметров и условий эффективного использования машин, даны рекомендации по разбивке проходок и проектированию забоев экскаватора, проведена методика определения расходов топлива дорожно-строительными машинами.

Приложения к учебно-методическому пособию содержат информацию о составе комплекта и комплексной бригады при разработке выемки с использованием экскаваторов с разным рабочим оборудованием, технические характеристики дорожно-строительных машин, справочную информацию.

Для облегчения самостоятельной работы студентов в учебно-методическом пособии собраны и обобщены материалы нормативно-инструктивных, справочных, учебных и дополнительных методических источников информации, приведенных в перечне литературы.

# 1 КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ ЭКСКАВАТОРНЫХ РАБОТ

## 1.1 Общие сведения об одноковшовых экскаваторах

Одноковшовый экскаватор – это землеройная машина циклического действия, предназначенная для разработки грунтов I–IV категории, а также предварительно разрыхленных мерзлых и скальных, с перемещением в отвал или погрузкой в транспортные средства.

Классификация одноковшовых экскаваторов представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Классификация одноковшовых экскаваторов

По назначению	Универсальные	Строительные (ЭО, вместимость ковша $q = 0,15 \dots 6 \text{ м}^3$ )	Работающие со сменным оборудованием нескольких видов
	Специальные	Карьерные гусеничные (ЭКГ, $q = 5 \dots 20 \text{ м}^3$ )	Работающие со сменным оборудованием одного вида
		Вскрышные гусеничные (ЭВГ, $q = 6 \dots 80 \text{ м}^3$ )	
		Вскрышные шагающие (ЭШ, $q = 6 \dots 200 \text{ м}^3$ )	
		Тоннельные и шахтные ( $q = 0,5 \dots 1 \text{ м}^3$ )	
По массе	Микро-экскаваторы	Эксплуатационная масса ( $m$ до 1,2 т)	$q = 0,02 \dots 0,03 \text{ м}^3$
	Мини-экскаваторы	$m = 1,2 \dots 6 \text{ т}$	$q = 0,03 \dots 0,20 \text{ м}^3$
	Обычные	$m > 3 \text{ т}$	$q = 0,2 \dots 200 \text{ м}^3$
По типу движителей	Гусеничные	Бывают с минимально допустимой площадью опорной поверхности гусениц (для работы в грунтах с высокой несущей способностью) и с увеличенной поверхностью гусениц (для работы на грунтах с низкой несущей способностью)	Вместимость ковша $0,4\text{--}16 \text{ м}^3$
	Пневмоколесные	Экскаватор на колесном ходовом устройстве, который имеет практически ту же поворотную часть,	Вместимость ковша $0,4\text{--}0,65 \text{ м}^3$

		что и гусеничный экскаватор	
--	--	-----------------------------	--

Продолжение таблицы 1.1

	На шасси автомобилей и тракторов	Экскаватор на базе самоходной машины, имеющей ходовой устройство на базе автомобиля или трактора	Вместимость ковша 0,15–4 м <sup>3</sup>
	Шагающие	Экскаватор на шагающем ходу, обычно с оборудованием драглайна	Вместимость ковша до 100 м <sup>3</sup>
По возможности вращения поворотной части	Полноповоротные	–	Поворот платформы с рабочим оборудованием обеспечивается на 360°
	Неполноповоротные	–	Угол поворота платформы или колонки с рабочим оборудованием ограничен 180–270°
По типу привода	Механические	Применяют только механические передачи	Силовым оборудованием служат двигатели внутреннего сгорания
	Гидравлические	Имеют в качестве силовых установок двигатели внутреннего сгорания с насосной группой, от которой энергия передается к рабочим органам и механизма при помощи рабочей жидкости	Силовая установка (дизель) приводит в действие гидронасосы, от них движение передается гидромоторам и гидроцилиндрам механизмов
	Электрические	Питание от внешней сети	Силовой установкой привода является генератор, питаемый от внешней сети. Генераторы питают ток электродвигатели постоянного или переменного тока, приводящие исполнительные механизмы рабочего оборудования

	Смешанного типа	Применяют два или три типа различных передач	Например, гидромеханический: рабочее оборудование и ходовое устройство машины могут иметь механический привод, а механизм подъема-опускания рабочего органа – гидравлический
--	-----------------	--	--

Продолжение таблицы 1.1

По виду рабочего оборудования	Прямая лопата	$q = 0,65 \dots 2,5 \text{ м}^3$	При копании зев ковша обращён от экскаватора. Разрабатывает грунт выше уровня стоянки экскаватора. Врезание ковша в грунт происходит под действием силы тяжести рабочего оборудования
	Обратная лопата	$q = 0,25 \dots 1,0 \text{ м}^3$	При копании зев ковша обращён к экскаватору. Разрабатывает грунт ниже уровня стоянки экскаватора. Врезание ковша в грунт происходит под действием силы тяжести рабочего оборудования
	Драглайн	$q = 0,4 \dots 2,5 \text{ м}^3$	При копании зев ковша обращён к экскаватору. Разрабатывает грунт ниже уровня стоянки экскаватора. Экскавация возможна из-под воды. Копание происходит в результате подтягивания ковша к экскаватору тяговым канатом
	Грейфер	$q = 0,5 \dots 1,0 \text{ м}^3$	Разрабатывает сыпучие и мелкокусковые материалы, легкие и плотные грунты выше, ниже уровня стоянки экскаватора и под водой. Копание происходит в результате смыкания челюстей ковша при натяжении замыкающего каната
	Планировочный ковш	$q = 0,25 \dots 0,65 \text{ м}^3$	Ковш установлен на телескопической стреле и может вращаться вокруг её оси. Наиболее эффективно используют при планировании наклонных поверхностей каналов, насыпей и выемок земляного полотна, расположенных ниже уровня стоянки экскаватора

	Крановое оборудование	Монтируют на экскаваторах с ковшом вместимостью до 8 м <sup>3</sup>	Предназначено для погрузочно-разгрузочных и строительно-монтажных работ
	Копровое оборудование	Узкоспециализированно	Предназначено для забивки свай

Окончание таблицы 1.1

По способу подвески рабочего оборудования	С гибкой подвеской	–	Подвеска рабочего оборудования при помощи канатных полиспастов
	С жесткой подвеской	–	Подвеска рабочего оборудования при помощи гидроцилиндров
По виду исполнения рабочего оборудования	Шарнирно-рычажное	Для удержания и приведения в действие шарнирно-рычажного рабочего оборудования используют жесткие связи - гидравлические цилиндры	Основные рабочие движения такого оборудования в вертикальной плоскости: изменение угла наклона стрелы, поворот рукояти с ковшом относительно стрелы и поворот ковша относительно рукояти
	Телескопическое	–	Основным рабочим движением является выдвигание и втягивание телескопической стрелы
По количеству приводных двигателей	Одномоторные	–	Привод всех механизмов экскаватора осуществляется от одного двигателя через механическую трансмиссию или гидрообъемную передачу
	Многомоторные	–	Привод каждого механизма экскаватора осуществляется от индивидуального гидравлического или электрического двигателя
<p><i>Примечание</i> – Масса машины с рабочим оборудованием, противовесом и полной заправкой топливно-смазочными материалами, рабочей (для гидравлических систем) и охлаждающей (для двигателей) жидкостью (конструктивную массу экскаватора определяют, исключая заправку).</p>			

### 1.1.1 Система индексации (маркировки) одноковшовых экскаваторов

**Индекс универсального одноковшового экскаватора** – код, содержащий описание его классификационных и иных признаков. В индексе одноковшовых строительных экскаваторов, выпущенных до 1971 г., указываются номинальная для данной модели вместимость основного ковша, порядковый номер модели и модернизации. Например, Э-302Г – экскаватор с основным ковшом вместимостью 0,3 м<sup>3</sup>, модель 2, прошедший четвертую модернизацию. Такие индексы не дают представления ни о типе ходового устройства, ни об исполнении рабочего оборудования.

Согласно ГОСТ 17343–83 установлено восемь размерных групп экскаваторов (таблица 1.2).

*Таблица 1.2 – Размерные группы экскаваторов*

Размерная группа	1	2	3	4	5	6	7	8
Вместимость ковша (геометрическая), м <sup>3</sup>	0,15	0,25	0,4	0,65	1,0	1,6	2,5	4,0

**Вместимость ковша геометрическая** – ограниченный объем между внутренними поверхностями стенок, днища и поверхностью, образованной перемещением прямой, перпендикулярной продольной плоскости ковша, по профилю открытых его сторон.

**Вместимость ковша номинальная** – сумма геометрической вместимости и дополнительного объема разрыхленного грунта (так называемой «шпалки»), удерживающегося над открытой поверхностью ковша.

Помимо геометрической вместимости основного ковша размер экскаватора характеризуют масса машины и мощность основного двигателя.

Тип ходового устройства указывается цифрами с 1 по 9, означающими:

- 1 – гусеничное ходовое устройство (Г);
- 2 – гусеничное уширенное (ГУ);
- 3 – пневмокошесное (П);
- 4 – специальное шасси автомобильного типа (СШ);
- 5 – шасси грузового автомобиля (А);
- 6 – шасси серийного трактора (Тр);
- 7 – прицепное ходовое устройство (Пр);
- 8, 9 – резерв.

Конструктивное исполнение рабочего оборудования указывается цифрами 1 (с гибкой подвеской), 2 (с жесткой подвеской), 3 (телескопическое). Последняя цифра индекса означает порядковый номер модели экскаватора. Первая из дополнительных букв после цифрового индекса (А, Б, В и т. д.) означает порядковую модернизацию данной машины, последующие – вид специального климатического исполнения (С или ХЛ – северное, Т – тропическое, ТВ – для работы во влажных тропиках). Например, индекс ЭО-6112Б расшифровывается так: гусеничный экскаватор одноковшовый универсальный, 6-й размерной группы с

основным ковшом вместимостью 1,6 м<sup>3</sup>, с гибкой подвеской рабочего оборудования, вторая модель, прошедшая вторую модернизацию.

В настоящее время серийно выпускаются экскаваторы 2–6-й размерных групп. В стандартах на экскаваторы для каждой размерной группы обычно приводятся несколько вместимостей ковшей – основного и сменных повышенной вместимости, причем для последних предусмотрены меньшие линейные параметры и более слабые грунты, чем при работе с основным ковшом. Основным считается ковш, которым экскаватор может разрабатывать

грунт IV категории на максимальных линейных рабочих параметрах (глубина и радиус копания, радиус и высота выгрузки и т. п.).

Действующая система индексации по ГОСТ 30067–93 предусматривает шесть размерных групп экскаваторов в зависимости от их массы (рисунок 1.1, таблица 1.3).

**Таблица 1.3 – Распределение размерных групп по массе экскаватора**

Размерная группа	Масса экскаватора, т		Размерная группа	Масса экскаватора, т	
	свыше	до		свыше	до
1	–	6,3	4	18,0	32,0
2	6,3	10,0	5	32,0	50,0
3	10,0	18,0	6	50,0	71,0

По типу ходового устройства выделяют: 1 – гусеничные, 2 – гусеничные с увеличенной опорной поверхностью гусениц, 3 – колесные одноковшовые универсальные экскаваторы.

В зависимости от исполнения рабочего оборудования экскаваторы делят на два вида: с гибкой и жесткой подвесками рабочего оборудования.

Основное исполнение для макроклиматических районов с умеренным климатом в индексе не указывают. Если модернизация не проводилась, то ее обозначение не указывают. Порядковый номер модификации экскаватора указывают соответствующей арабской цифрой после основного

индекса. Индекс присваивают на основе утвержденного технического задания на проектирование экскаватора базовой организацией по стандартизации.

Одинаковое число основных цифр в индексе для экскаваторов всех типов и размеров создает удобство для электронной обработки статистических данных при планировании и учете выпускаемых машин.

### 1.1.2 Конструкции экскаваторов с различным видом рабочего оборудования

Общий вид экскаваторов с различным видом рабочего оборудования показан на рисунках 1.2, 1.4, 1.6.



Рисунок 1.1 – Схема индексации универсальных одноковшовых экскаваторов



Рисунок 1.2 – Общий вид экскаватора с рабочим оборудованием типа прямая лопата

Конструкция гусеничного одноковшового экскаватора с рабочим оборудованием типа прямая лопата приведена на рисунке 1.3.

Основными элементами рабочего оборудования являются стрела 6, рукоять 7, ковш 10 и гидроцилиндры: подъема-опускания стрелы 5, ковша 8 и рукояти. На экскаваторе могут устанавливаться как поворотные, так и неповоротные ковши.

Поворотные значительно расширяют возможности экскаватора, обеспечивая помимо разработки грунта

планировку забоя. В случае установки неповоротного ковша гидроцилиндр 8 служит для открывания днища ковша при выгрузке грунта.

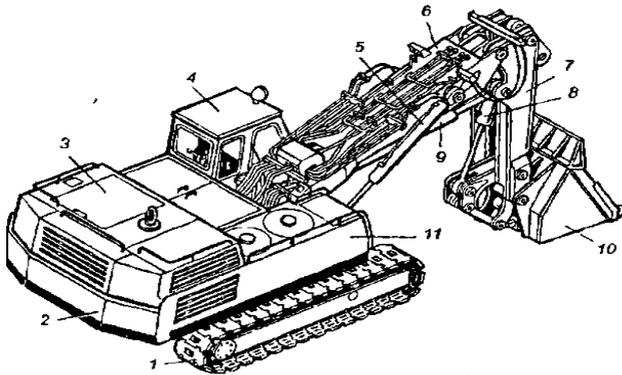


Рисунок 1.3 – Устройство экскаватора с рабочим оборудованием типа прямая лопата:

- 1 – гусеничное ходовое оборудование; 2 – противовес; 3 – двигатель; 4 – кабина управления; 5 – гидроцилиндр подъема-опускания стрелы; 6 – стрела; 7 – рукоять; 8 – гидроцилиндр подъема-опускания ковша; 9 – гидроцилиндр подъема – опускания рукояти; 10 – рабочее оборудование типа прямая лопата; 11 – поворотная платформа

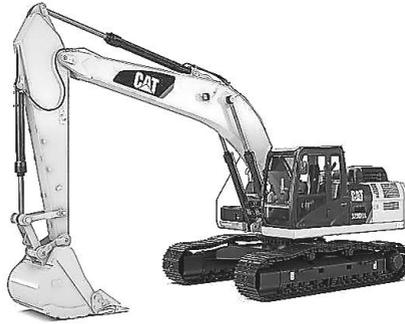


Рисунок 1.4 – Общий вид полноповоротного экскаватора с оборудованием обратная лопата

Конструкция гусеничного одноковшового экскаватора с рабочим оборудованием обратная лопата приведена на рисунке 1.5.

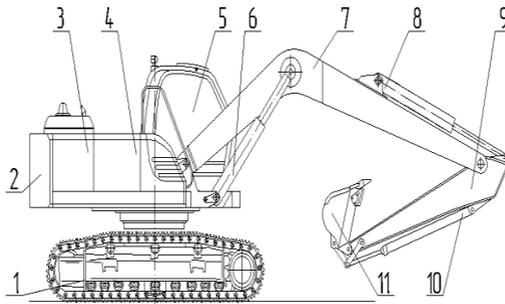


Рисунок 1.5 – Устройство экскаватора с рабочим оборудованием обратная лопата:

- 1 – гусеничное ходовое устройство; 2 – противовес; 3 – силовая установка;  
4 – поворотная платформа; 5 – кабина оператора; 6, 8, 10 – гидроцилиндры стрелы,  
рукояти и ковша; 7 – стрела; 9 – рукоять; 11 – ковш

Сменное рабочее оборудование драглайна (рисунок 1.7) включает удлиненную решетчатую стрелу 2, специальный ковш совкового типа 4 с подъемными и тяговыми цепями, стрелоподъемный полиспаст 1, подъемный 3, тяговый 6 и разгрузочный (опрокидной) 5 канаты и механизм наводки (систему направляющих блоков 7) тягового каната. Наполнение ковша, прижимаемого к забою собственным весом, происходит при подтягивании его к экскаватору тяговым канатом 6. Выгрузка поднятого на необходимую высоту ковша осуществляется путем его поворота при ослаблении натяжения тягового и опрокидного канатов.

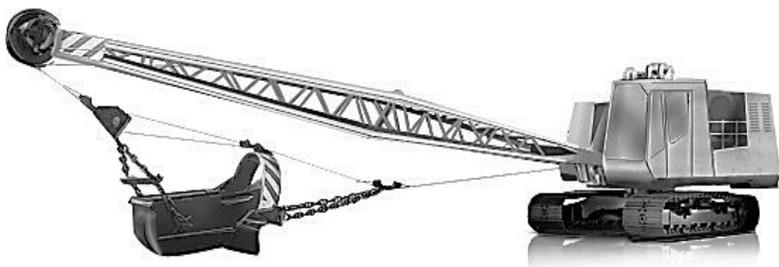


Рисунок 1.6 – Общий вид экскаватора с рабочим оборудованием типа драглайн

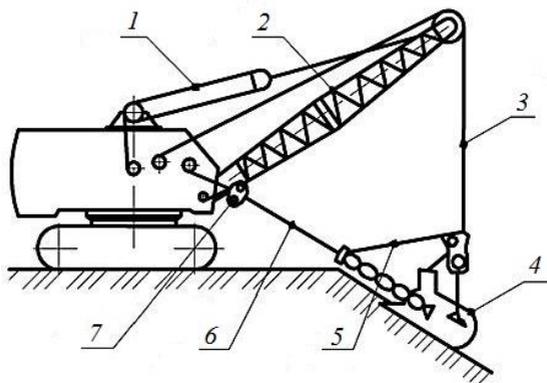


Рисунок 1.7 – Устройство рабочего оборудования драглайна

## 1.2 Выбор типа рабочего оборудования и марки экскаватора

Выбор типа экскаваторов, его модели и вида рабочего оборудования производят исходя из грунтовых и климатических условий, объемов и сроков производства работ, параметров земляных сооружений, дальности транспортирования грунта и ряда других факторов.

При работе на грунтах с высокой несущей способностью, на рассредоточенных работах (строительство магистральных трубопроводов, опор линий электропередач, дорожные работы и т.п.), в городских условиях (где необходима частая перебазировка собственным ходом) целесообразно использовать колёсные одноковшовые универсальные экскаваторы.

Экскаваторы на гусеничном ходу следует применять на сосредоточенных объемах земляных работ, не требующих частых перебазировок; при работе на слабых грунтах; разработке скальных грунтов.

Вид рабочего оборудования экскаватора уточняется в зависимости от характера выполняемых работ (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Рекомендуемые области применения одноковшовых экскаваторов

Вид рабочего оборудования экскаватора	Вид выполняемых работ	Объем грунта в массиве, тыс. м <sup>3</sup>	Рабочая отметка, м	Условия работ
Прямая лопата с вместимостью ковша, м <sup>3</sup> : 0,65–1 1–1,25 1,25–1,6 1,6–2,5	Разработка выемки, резерва, карьера с перемещением грунта транспортным и средствами в насыпь, кавальер, отвал	≥20 40–60 60–80 ≥80	Любая	При уровне грунтовых вод ниже подошвы разработки. При уровне грунтовых вод выше разработки применяют водоотлив или водопонижение. В скальных грунтах вместимость ковша не более 1 м <sup>3</sup>
Драглайн с вместимостью ковша, м <sup>3</sup> : 0,65–1 1–1,6 1,6–2,5	То же  Из резерва в насыпь. Из выемки навывет в кавальер	20–40 40–80 ≥80 Любой  То же	Любая  До 3,5 м  Не более максимальной глубины копания	В заболоченной местности – ковш вместимостью, 0,65–1 м <sup>3</sup> Разработка всех грунтов, кроме скальных  Независимо от уровня грунтовых вод. При потоке воды, препятствующем производству работ, устраивают водоотлив или водопонижение
Обратная лопата с вместимостью ковша, м <sup>3</sup> : 0,65–1 1–1,25 1,25–1,6 1,6–2,5	Разработка котлованов, траншей и резервов в отвал или с погрузкой в транспортные средства	≥20 40–60 60–80 ≥80	Любая	То же

Ориентировочно вместимость ковша экскаватора возможно выбрать в соответствии с объемом работ (таблица 1.5).

При выборе экскаватора вместимость ковша должна быть максимальной, а время для его наполнение – минимальным. Выполнение этих требований в конкретных условиях обеспечивается, когда ковш определенного объема в процессе выработки грунта будет за одно движение наполняться с верхом в момент его выхода из забоя на поверхность.

Таблица 1.5 – Ориентировочная вместимость ковша экскаватора в зависимости от объема работ в одном месте

Минимальный объем работы в грунтах I–IV категории	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>
500	0,15–0,35
500–1000	0,35–0,65
1000–2000	0,65–0,8
2000–3000	0,8–1,0
Более 3000	1,0–2,0

Условие наполнения ковша с «шапкой» выполняется, если

$h_k \geq h_{\min}$  – для рабочего оборудования прямая и обратная лопата;

$l_{\text{вол}} \geq l_{\text{нап}}$  – для оборудования драглайн,

где  $h_{\min}$  – наименьшая глубина (высота) забоя, обеспечивающая наполнение ковша с «шапкой» за одно черпание (таблица 1.6);

$l_{\text{вол}}$  – длина пути волочения ковша драглайна, м (рисунок 1.8);

$l_{\text{вол}} = h_k / \sin \alpha_1$ , м. Угол внутреннего откоса экскаваторного забоя принимают по таблице 1.7;

$l_{\text{нап}}$  – нормальная длина волочения, обеспечивающая наполнение ковша, м (таблица 1.8).

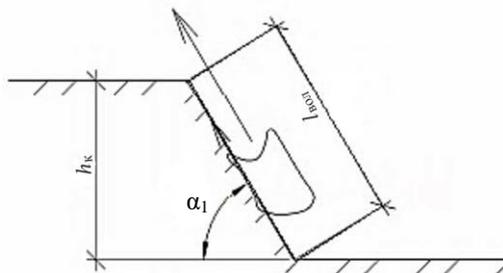


Рисунок 1.8 – Схема для определения длины пути волочения ковша драглайна

Зная глубину разработки выемки, группу грунтов и тип экскаватора, можно определить наибольшую вместимость ковша. Учитывая особенность разработки грунта и наполнения ковша экскаватора с гидравлическим приводом, наименьшую высоту забоя можно принять выше на 30–40 %. В

этом случае требуемую вместимость ковша экскаватора определяют по таблице 1.6, исходя из условий величины глубины разработки.

Для определения наибольшей вместимости ковша экскаватора-драглайна можно воспользоваться данными таблицы 1.8.

Сначала находят длину откоса в зависимости от глубины выемки и угла внутреннего откоса для конкретной группы грунта. Затем для полученного значения по таблице 1.8 выбирают ковш наибольшей вместимости. После этого в зависимости от типа экскаватора и вместимости ковша, используя справочную литературу или данные приложения А, выбирают марку экскаватора с учетом требований к радиусу и высоте выгрузки грунта и условий проходимости экскаватора.

**Таблица 1.6 – Наименьшая высота забоя, обеспечивающая наполнение ковша с «шапкой»**

		В метрах							
Тип лопаты	Группа грунта	При вместимости ковша, м <sup>3</sup>							
		0,4	0,5	0,8	1,0	1,6	2,0	3,0	4,0
Прямая лопата	I, II	1,5	1,5	2,5	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0
	III	2,5	2,5	3,5	4,5	4,5	4,5	5,0	5,5
	IV	3,0	3,5	5,5	6,0	6,0	6,5	6,5	7,0
Обратная лопата	I, II	1,2	1,5	1,8	2,2	2,5	3,0	–	–
	III	1,8	2,0	2,0	3,0	3,5	4,0	–	–

**Таблица 1.7 – Угол внутреннего откоса забоя экскаватора драглайн**

В градусах				
Вид грунта	Песок	Супесь	Суглинок	Глина
Угол $\alpha_1$	40–45	40–45	30–35	20–30

**Таблица 1.8 – Длина пути волочения ковша на откосе забоя, обеспечивающая наполнение его с «шапкой»**

В метрах			
Вместимость ковша драглайна, м <sup>3</sup>	Для групп разрабатываемого грунта		
	I-II	III	IV-V
0,4	3,0	4,0	4,5
0,8	4,0	5,0	5,5
1,0	4,0	5,5	6,0
1,5	5,0	6,0	6,5
2,5	5,5	7,0	8,0

Если окажется, что для выполнения одной и той же работы равнозначно подходят несколько типов экскаваторов или сменного оборудования, то выбор возможно осуществить по наименьшей стоимости выполнения единицы объема земляных работ  $C_{ед}$  по формуле

$$\tilde{N}_{\text{аи}} = \frac{\tilde{N}_{\text{а}} + \tilde{N}_{\text{и}}}{\dot{I}_{\text{и}}} + \frac{\sum_{\text{аа}}}{V}, \quad (1.1)$$

где  $C_{\Gamma}$  – приведенная к одной смене работы доля затрат, образующихся от годовых отчислений (амортизационные отчисления и др.), руб.;

$C_{\text{см}}$  – сменные затраты на содержание обслуживающего персонала, текущий ремонт и износ сменной оснастки, энергетические, смазочные и прочие материалы, руб.;

$P_{\text{см}}$  – сменная производительность экскаватора, м<sup>3</sup>/см.

$$\dot{I}_{\text{и}} = \frac{8V_{\text{ец}}}{\dot{I}_{\text{ад}}}, \quad (1.2)$$

8 – продолжительность рабочей смены, ч;

$V_{\text{изм}}$  – единичный объем (объем в измерителе);

$H_{\text{вр}}$  – норма затрат машинного времени, маш.ч, на выполнение объема работ по РСН [17]. К  $H_{\text{вр}}$  необходимо применять соответствующий коэффициент;

$\Sigma_{\text{ед}}$  – суммарные единовременные затраты на перебазирование машины и специальные устройства, руб.;

$V$  – объем разрабатываемого грунта, м<sup>3</sup>;

### 1.3 Выбор схемы производства земляных работ

Экскаватор может работать в одном из двух режимов:

- с погрузкой грунта в транспортные средства;
- навывет.

Такие режимы работы экскаватора обусловили применение основных схем производства работ: транспортной и бестранспортной соответственно.

Бестранспортные схемы могут быть простыми и сложными. При использовании простой схемы перемещение грунта производится непосредственно в сооружение (насыпь, кавальер, отвал). При работе по сложной схеме отсыпка грунта осуществляется в промежуточный отвал, который в дальнейшем подлежит частичной или полной переэкскавации (перевалки).

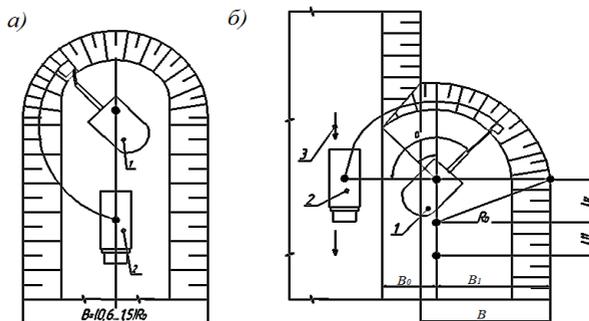
Применение транспортной схемы предполагает погрузку грунта экскаватором в автомобили-самосвалы и перемещение его в пункт назначения. При этом возможна тупиковая подача транспортных средств (езда по одному пути – рисунок 1.9, а) или сквозная (подъезд к экскаватору

без маневрирования с дальнейшим транспортированием грунта по дороге, продолжающей въездной путь (рисунок 1.9, б).

Таким образом, выбор схемы следует выполнять, ориентируясь на условия проведения работ. Например, при строительстве автомобильных дорог высших категорий, ввиду сохранения сельскохозяйственных угодий, преобладающей стала транспортная схема.

Рисунок 1.9 – Виды движения транспорта:

- а* – тупиковый;
- б* – сквозной;
- 1* – экскаватор, *2* – автосамосвал, *3* – направление движения транспорта



#### 1.4 Общие сведения о многоковшовых экскаваторах

Согласно ГОСТ 21796–90 [4] экскаватор непрерывного действия (многоковшовый экскаватор) – это машина, непрерывно разрабатывающая грунт с одновременной погрузкой его в транспортное средство или укладкой в отвал.

Классификация многоковшовых экскаваторов приведена на рисунке 1.10.

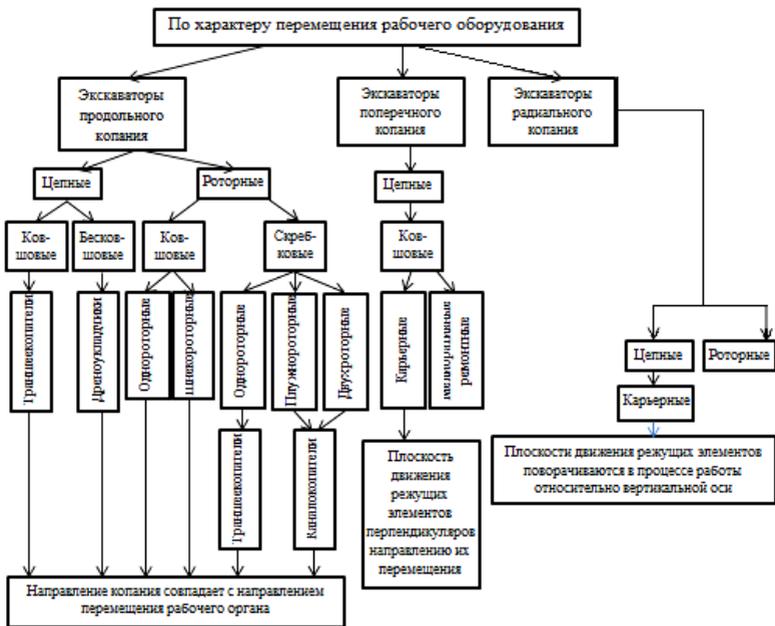


Рисунок 1.10 – Классификация экскаваторов непрерывного действия  
**1.4.1 Система индексации (маркировки) многоковшовых экскаваторов**

**Индекс экскаваторов непрерывного действия** состоит из символов, кодирующих классификационные характеристики машин (рисунки 1.11, 1.12). Буквы отражают назначение машины и тип её рабочего органа, а цифры – главный параметр и индексацию изготовителя:



Рисунок 1.11 – Схема индексации экскаваторов непрерывного действия продольного копания

– для траншейных экскаваторов: первые две цифры – глубина копания в дециметрах, третья – порядковый номер модели;  
 – для экскаваторов поперечного и радиального копания: первые две цифры – вместимость ковша в литрах, третья – порядковый номер модели. Очередная модернизация базовой модели отражается

добавлением к цифровому коду русской буквы в алфавитном порядке. В конце индекса указывается вид климатического исполнения машины: С (северное), Т (тропическое) или ТВ (тропическое влажное).

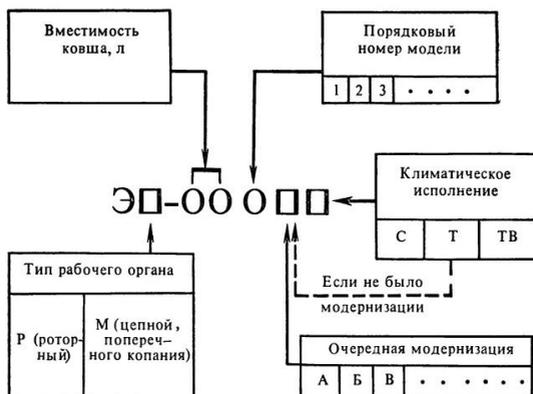


Рисунок 1.12 – Схема индексации экскаваторов непрерывного действия поперечного и радиального копания

#### 1.4.2 Конструкция роторного стрелового экскаватора

Общий вид роторного стрелового экскаватора показан на рисунке 1.13.

Устройство роторного стрелового экскаватора показано на рисунке 1.14. Он состоит из ротора 1, роторной стрелы 2, надстройки 3, противовесной консоли с механизмами 4, разгрузочной консоли 5, ходового оборудования 6 и кабины управления 7.

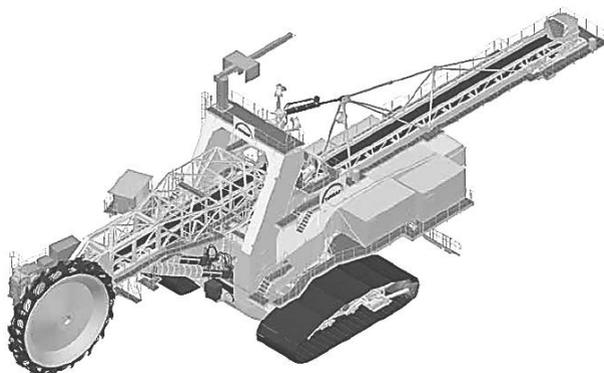


Рисунок 1.13 – Общий вид роторного стрелового экскаватора

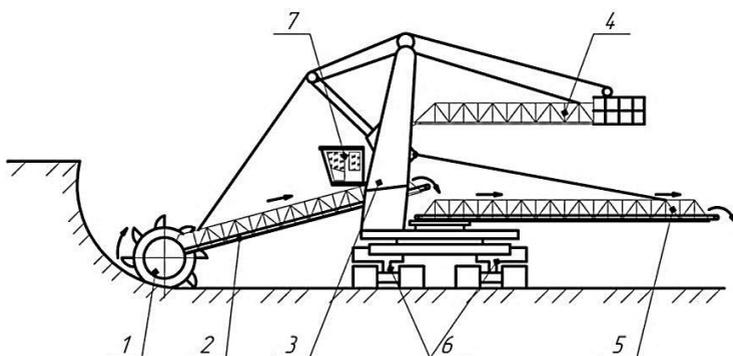


Рисунок 1.14 – Роторный стреловой экскаватор

### 1.5 Выбор транспортных средств

Для транспортировки грунта на расстояние свыше 0,5 км в комплекте с экскаватором наиболее часто используют автосамосвалы.

При сооружении дорожного земляного полотна, как правило, экскаватор разрабатывает забой с погрузкой в транспортные средства. Число автомобилей, обслуживающих один экскаватор, определяется из условий обеспечения его бесперебойной работы.

На выбор моделей и на число автосамосвалов влияют два противоположно действующих фактора. С увеличением грузоподъемности уменьшаются простои экскаватора для смены автосамосвалов, растет его выработка. Вместе с тем мощные автосамосвалы увеличивают стоимость комплекта. Рациональное соотношение вместимости ковша, грузоподъемности автосамосвалов и дальности перемещения грунта представлено в таблице 1.9.

Наименьшая грузоподъемность автосамосвалов в зависимости от вместимости ковша экскаватора при транспортировке грунта указана в таблице 1.10.

В таблице 1.11 приведены данные по автосамосвалам, наиболее целесообразным для перевозки грунта I и III групп. Для грунтов II группы интерполяцией можно легко установить границы рационального применения автосамосвалов.

Таблица 1.9 – Рациональная грузоподъемность автосамосвалов

Дальность перемещения грунта, км	Вместимость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>						
	0,4	0,65	1,0	1,25	1,6	2,5	4,6

0,5	4,5	4,5	7,0	7,0	10,0	–	–
1,0	7,0	7,0	10,0	10,0	10,0	12,0	27,0
1,5	7,0	7,0	10,0	10,0	12,0	18,0	27,0
2,0	7,0	10,0	10,0	12,0	18,0	18,0	27,0
3,0	7,0	10,0	12,0	12,0	18,0	27,0	40,0
4,0	10,0	10,0	12,0	18,0	18,0	27,0	40,0
5,0	10,0	10,0	12,0	18,0	18,0	27,0	40,0

Таблица 1.10 – Наименьшая грузоподъемность автосамосвалов

Вместимость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>	0,40–0,65	1–1,6	2,5	4,6
Минимальная грузоподъемность автосамосвалов, т	4,5	7,0	12,0	18,0

При подборе автосамосвала необходимо соблюдать следующие рекомендации:

1 Соотношение между вместимостью ковша экскаватора и грузоподъемностью автосамосвала должно находиться в пределах  $N_k = 3 \dots 10$ .

2 Необходима проверка использования вместимости кузова машины:

$$Q_k \geq N_k q \frac{K_n}{K_p}, \quad (1.3)$$

где  $Q_k$  – номинальный объем кузова, м<sup>3</sup>;

$q$  – геометрическая вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;

$K_n$  – коэффициент наполнения ковша (таблица 1.12);

$K_p$  – коэффициент разрыхления грунта (таблица 1.13).

Таблица 1.11 – Дальность перемещения

Грузоподъемность автосамосвалов, т		12	7	3,5	12
Грунты I группы	Свыше 8,6 » 7,6 » 8,0 » 5,0 » 3,2 » 3,1 » 2,8	До 1,8 » 1,6 » 2,1 » 1,0 » 0,9 – –	1,8–8,8 1,6–8,2 2,1–8,6 1,1–6,3 0,9–5,1 До 4,5 » 4,3	До 1,9 » 0,6 – – –	Свыше 8,8 » 8,2 » 8,6 » 6,3 » 5,1 » 4,5 » 4,3
Грунты II группы	Свыше 8,6 » 5,6 » 3,0 » 2,7 » 2,2	До 1,9 » 0,6 – – –	Свыше 1,9 0,6–7,2 До 3,0 » 2,7 » 2,2	До 10 » 10 » 10 » 8,7 » 8	– Свыше 7,2 » 3,0 » 2,7 » 2,2

Объем работ, выполняемый экскаватором в комплекте с автосамосвалами, м <sup>3</sup>	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	7	
		3,5	7
100 500 1000	0,4	До 1,7 » 1,6 » 2,0 » 1,0 » 0,9 – –	1,7–8,6 1,6–7,6 2–8 1–5 0,9–3,2 До 3,1 » 2,8
1000 5000 Более 10000	0,65		
100 500 1000 5000 Более 10000	1	До 1,5 » 0,8 – – –	1,5–8,6 0,8–5,6 До 3,0 » 2,7 » 2,2
500 1000 5000 10000 Более 20000	1,5	– – – –	– – – –

Если условия проверки не выполняются, следует повторить расчеты при других значениях  $N_k$ , или подобрать другую модель автосамосвала.

Выбрав окончательную модель автосамосвала, определяют коэффициент использования его грузоподъемности:

$$\kappa_r = \frac{N_k P_k}{G}, \quad (1.4)$$

где  $P_k$  – масса грунта, набираемая в ковш за одно черпание, т;

$G$  – грузоподъемность автосамосвала, т.

При эксплуатации автосамосвалов перегруз допускается не более 10 % паспортной грузоподъемности, т.е.  $\kappa_r \leq 1,1$ .

Число ковшей, загружаемых в автосамосвал, будет равно (округленно):

$$N_k = \frac{G}{P_k}, \quad (1.5)$$

Масса грунта, набираемая в ковш за одно черпание,

$$P_k = \frac{q\kappa_n\gamma}{\kappa_p}, \quad (1.6)$$

где  $\gamma$  – плотность грунта в плотном теле, т/м<sup>3</sup>.

Таблица 1.12 – Коэффициент наполнения ковша экскаватора

Грунт	Группа грунта	Прямая (обратная) лопата	Драглайн
Глина:			
средняя	II	1,08–1,18	0,98–1,06
влажная	III	1,3–1,5	1,18–1,28
тяжелая	IV	1,0–1,1	0,95–1,0
влажная	IV	1,25–1,4	1,1–1,4
Суглинок:			
естественной влажности	II	1,05–1,12	0,8–1,0
влажности больше оптимальной	II	1,2–1,32	1,15–1,25
Песок и гравий влажные	I, II	1,15–1,23	1,1–1,2
Песок, гравий, щебень и хорошевозорванные скальные породы	I, V, VI	0,95–1,02	0,8–0,9
Плоховозорванные скальные породы	V, VI	0,75–0,9	0,55–0,8

Показатели коэффициента наполнения ковша роторного экскаватора следующие: для I группы грунта  $\kappa_n = 0,9...1,2$ ; II –  $0,8...1,1$ ; III –  $0,75...1,0$ .

Таблица 1.13 – Коэффициент разрыхления грунта в ковше

Грунт	Коэф- фициент разрыхлени я	Грунт	Коэф- фициент разрыхлени я
Глина ломовая	1,28–1,32	Разборно-скальные грунты	1,30–1,45
Глина мягкая жирная	1,24–1,30	Скальные грунты	1,45–1,50
Глина сланцевая	1,28–1,32	Солончак и солонец мягкие	1,20–1,26
Гравийно-галечные грунты	1,16–1,20	Солончак и солонец твердые	1,28–1,32
Растительный грунт	1,20–1,25	Суглинок легкий и лессовидный	1,18–1,24
Лесс мягкий	1,18–1,24	Суглинок тяжелый	1,24–1,30
Лесс твердый	1,24–1,30	Супесь	1,12–1,17
Мергель	1,33–1,37	Торф	1,24–1,30
Опока	1,33–1,37	Чернозем и каштановый грунт	1,22–1,28
Песок	1,10–1,15	Шлак	1,14–1,18

Количество автосамосвалов в зависимости от наличия исходных данных возможно определить, используя формулы (1.7) и (1.11).

1 Потребное количество автосамосвалов

$$N = \frac{P_3}{P_a}, \quad (1.7)$$

где  $P_3$ ,  $P_a$  – соответственно среднечасовая производительность экскаватора и автосамосвала.

Производительность одного автосамосвала, м<sup>3</sup>/ч,

$$P_a = \frac{60G}{c + dG}, \quad (1.8)$$

где  $c$  и  $d$  – эмпирические коэффициенты, учитывающие дальность транспортирования грунта и его объемную массу,

$$c = 11,6\sqrt{L_c}(1 + 0,0127L_c); \quad (1.9)$$

$$d = \frac{60}{\gamma I_{\dot{y}}}; \quad (1.10)$$

$L_c$  – средняя дальность транспортирования грунта, км.

Рассматривая процесс работы транспортных средств как поточный, характеризующийся постоянным ритмом, можно определить необходимое количество транспортных средств по формуле

$$N = \frac{T_{\text{н}}}{t_{\text{н}}}, \quad (1.11)$$

где  $N$  – количество автосамосвалов;

$T_{ц}$  – продолжительность цикла автосамосвала, мин;

$t_{п}$  – продолжительность погрузки автосамосвала, мин.

Полученное значение  $N$  округляют до целого числа в большую сторону.

Продолжительность цикла автосамосвала

$$T_{ц} = t_{п} + \frac{2L_c}{v_r} + t_p + t_m, \quad (1.12)$$

где  $t_{п}$  – продолжительность погрузки автосамосвала, мин;

$L_c$  – средняя дальность транспортирования грунта, м;

$v_r$  – средняя скорость движения гружёного и порожнего автосамосвала (таблица 1.14), м/мин;

$t_p$  – продолжительность разгрузки самосвала (таблица 1.15), мин;

$t_m$  – продолжительность маневрирования 1–3 мин.

**Таблица 1.14 – Средняя скорость движения автосамосвалов**

Дальность транспортирования грунта, км	Средняя скорость движения, км/ч, при грузоподъемности автосамосвалов, т			
	3,5	4,5–5	7–10	25
0,5	12,7	11,8	–	–
0,6	13,6	12,8	–	–
0,7	14,5	13,7	–	–
0,8	15,3	14,5	–	–
0,9	16,1	15,3	–	–
1,0	16,8	16,0	14,0	12,5
1,2	18,2	17,4	15,4	14,0
1,4	19,5	18,6	16,6	14,5
1,6	20,6	19,7	17,6	16,0
1,8	21,7	20,8	18,5	16,5
2,0	22,7	21,8	19,4	17,5
2,5	25,0	23,7	21,0	19,0
3,0	26,5	25,0	22,0	20,0
3,5	27,6	26,2	22,5	21,0
4,0	28,0	27,0	23,0	22,0

При определении времени погрузки  $t_n$  необходимо подсчитать количество ковшей грунта для заполнения одного автосамосвала  $N_k$  по формуле (1.5).

Полученное значение  $n$  округляют до целого числа для одноковшовых экскаваторов таким образом, чтобы недогруз и перегруз транспортных средств не превышал 10 %. Если значение коэффициента использования грузоподъемности автосамосвала не укладывается в указанных пределах (0,9–1,1), необходимо округлить  $n$  в другую сторону. Для роторных экскаваторов значение  $n$  не округляют, поскольку у них отвальный

транспортер в момент окончания загрузки одного транспортного средства поворачивается и подает грунт в другое, которое должно быть к этому моменту установлено рядом с первым.

Таблица 1.15 – Продолжительность установки под разгрузку и разгрузки автосамосвалов

Грузоподъемность автосамосвала, т	Продолжительность, мин		
	установка под разгрузку	пропуск встречного автосамосвала	разгрузка
3,5	0,6	1,0	0,6
4,5–5	0,6	1,0	1,0
7–10	0,6	1,0	0,8
25	1,0	1,0	1,3

Продолжительность погрузки автосамосвала определяется по формуле

$$t_{п} = \frac{Q_{к} \cdot 60}{П_{г}}, \quad (1.13)$$

Значение  $t_{п}$  можно определить в зависимости от количества ковшей грунта  $n_{к}$ , погружаемого на транспортную единицу:

$$t_{п} = \frac{N_{к}}{n_{1} \kappa_{т}}, \quad (1.14)$$

где  $n_{1}$  – число ковшей, загружаемых в течение 1 мин;

$\kappa_{т}$  – коэффициент, учитывающий затраты времени на маневры при установке транспортных средств под погрузку: для одноковшовых экскаваторов  $\kappa_{т} = 0,87 \dots 0,94$ ; для роторных –  $\kappa_{т} = 1,15 \dots 1,25$ .

Для одноковшовых экскаваторов

$$n_{1} = \frac{60}{t_{в}}, \quad (1.15)$$

где  $t_{в}$  – продолжительность цикла работы экскаватора (таблица 1.16), с.

Для роторных экскаваторов

$$n_{1} = z n_{0}, \quad (1.16)$$

где  $z$  – количество ковшей;

$n_{0}$  – частота вращения ротора, об/мин.

Значение  $n_{0}$  принимают в зависимости от вида грунта.

Приведенная выше методика определения количества автосамосвалов не учитывает случайные факторы, влияющие на работу транспорта и экскаватора (природно-климатические и дорожные условия, техническое состояние машин, квалификацию и эмоциональное состояние водителей и т.п.), поэтому иногда у экскаватора при общей его недогрузке образуются

на какие-то промежутки времени очереди из транспортных средств. Оптимальное проектирование составов комплектов машин основано на теории массового обслуживания и обеспечивает экономический эффект до 20 % стоимости работ.

Таблица 1.16 – Продолжительность цикла работы экскаваторов

В секундах

Угол поворота стрелы, град	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	При работе в отвал			При погрузке в транспортные средства	
		Обратная лопата	Прямая лопата	Драглайн	Прямая (обратная) лопата	Драглайн
90	0,5	18	16	19	16	22
	1,0	22	18	25	20	26
	1,6	25	20	29	22	30
	2,5	29	23	32	24	32
135	0,5	20	18	20	18	24
	1,0	24	20	26	22	28
	1,6	27	22	30	25	33
	2,5	31	25	32	27	36
180	0,5	22	20	22	20	26
	1,0	27	23	28	25	31
	1,6	29	26	32	28	35
	2,5	33	29	36	30	40

Для определения оптимальной грузоподъемности автосамосвалов и их числа в экскаваторном комплексе можно воспользоваться методикой, излагаемой ниже.

В качестве критерия оптимизации следует принять удельные приведенные затраты, т.е. себестоимость разработки и транспортировки единицы грунта одноковшовым экскаватором с погрузкой в автосамосвалы и с учетом срока окупаемости капиталовложений.

Используя логико-аналитический анализ, критерий оптимизации – удельные приведенные затраты – можно представить в таком виде

$$y = \frac{C_{\bar{y}} + C'_a N + C''_a n \cdot 2L}{nG\hat{e}_a} + \frac{E_f (S_a N + S_{\bar{y}})}{\dot{I}_{\text{н}} \dot{O}_{\text{ам}}}, \quad (1.17)$$

где  $C_{\bar{y}}$  – стоимость 1 машино-смены экскаватора, у. е.;

$C'_a$  – часть стоимости 1 машино-смены автосамосвала, не зависящая от пробега в 1 см, у.е.;

$N$  – число автосамосвалов, необходимых для обслуживания экскаватора, шт.;

$C_a''$  – часть стоимости 1 машино-смены автосамосвала, зависящая от пробега и приходящаяся на 1 км пробега, у.е.;

$n$  – число рейсов всех автосамосвалов в течение 1 машино-смены;

$L$  – дальность транспортирования грунта от экскаватора к месту выгрузки, км;

$k_r$  – коэффициент использования грузоподъемности автосамосвала;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  
 $E_n = 0,15$ ;

$S_a, S_s$  – инвентарно-расчетная стоимость соответственно автосамосвала и экскаватора, у.е.;

$P_{см}$  – производительность комплекта машин, т/см;

$T_{гсм}$  – число смен работы транспортных средств в год.

Для упрощения записи обозначим

$$m = E_n / T_{гсм}. \quad (1.18)$$

В качестве основного параметра (переменной) возьмем грузоподъемность автосамосвала.

Для определения оптимальной грузоподъемности  $G_{опт}$  автосамосвала необходимо найти взаимосвязи отдельных составляющих критерия оптимизации удельных приведенных затрат от грузоподъемности автосамосвала. При этом часть взаимосвязей таких составляющих, как  $S_a$ ,  $C_a'$ , и  $C_a''$ , можно определить на основе использования корреляционно-регрессионного анализа.

Другую часть взаимосвязей таких составляющих, как  $N$  и  $n$ , можно определить на основе логико-аналитического анализа функционирования комплекта машин экскаваторов-автосамосвалов.

Логико-аналитический анализ предусматривает детальный анализ всех процессов, происходящих в реально функционирующем комплекте машин.

Поскольку существует большое разнообразие процессов, схем функционирования одного и того же комплекта машин, то ограничиваются наиболее распространенными.

Рассмотрим регулярный поток поступления автосамосвалов на погрузку. Тогда число автосамосвалов, необходимых для обслуживания одноковшового экскаватора,

$$N = \frac{t_n + t_{тг} + t_{тх} + t_p}{t_n} = 1 + \frac{60 \frac{L}{v_1} + 60 \frac{L}{v_2} + t_p}{t_n}, \quad (1.19)$$

где  $t_n$  – продолжительность погрузки автосамосвала, мин;

$t_{т.г}$  – продолжительность транспортировки грунта автосамосвалом, мин;

$t_{т.х}$  – продолжительность холостого хода автосамосвала, мин;

$v_1$  – скорость транспортировки грунта, км/ч;

$v_2$  – скорость холостого хода автосамосвала, км/ч;

$t_p$  – продолжительность разгрузки автосамосвала, мин.

Число рейсов всех самосвалов в течение 1 машино-смены

$$n = \frac{60t_{см}}{t_n}, \quad (1.20)$$

где  $t_{см}$  – число часов работы комплекта машин экскаватор-автосамосвалы в течение 1 маш.см.

Время, потребное на погрузку автосамосвала, складывается из чистого времени, необходимого для погрузки автосамосвала  $t_n$ , и времени перерыва в режиме работы экскаватора, необходимого для смены автосамосвала  $t_1$ . Это можно выразить так:

$$t_n = t'_n + t_1 = t_n + \frac{Gk_r}{P_k} + t_1, \quad (1.21)$$

где  $t_n$  – рабочий цикл экскаватора, мин;

$P_k$  – масса грунта, набираемая в ковш экскаватора за одно черпание, т.

Массу грунта в ковше можно подсчитать, зная вместимость ковша экскаватора, плотность разрабатываемого грунта, коэффициенты наполнения и разрыхления по формуле (1.6).

Некоторые стоимостные составляющие зависят от грузоподъемности автосамосвала. Так, чем выше его производительность, тем больше затраты, связанные с приобретением и эксплуатацией автосамосвала (таблица 1.17).

Для определения взаимосвязей отдельных составляющих – удельных приведенных затрат ( $S_a$ ,  $C'_a$  и  $C''_a$ ) критерия оптимизации в зависимости от грузоподъемности автосамосвала – необходимо результаты таблицы 1.17 представить в виде формул.

Одним из способов получения формул является *метод наименьших квадратов*. Согласно ему вначале устанавливается вид зависимости между составляющими затрат (см. таблицу 1.17). Для этого, используя данные таблицы 1.17, строят графики функций  $C'_a = f(g)$ ,  $C''_a = f(g)$ ,  $S_a = f(g)$ .

Если эти функции описываются линейной зависимостью ( $y = ax + b$ ), то параметры  $a$  и  $b$  определяются из нормальной системы уравнений

$$a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i; \quad (1.22)$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i^2 + bn = \sum_{i=1}^n y_i.$$

Таблица 1.17 – Техничко-экономические составляющие затрат на автосамосвал

Грузоподъёмность автосамосвала	Часть стоимости 1 машино-смены, не зависящая от пробега $C'_a$ , у.е.	Затраты, приходящиеся на 1 км пробега $C''_a$ , у.е.	Инвентарно-расчётная стоимость $S_a$ , у.е.
2,25	5,33	0,068	1580
4,50	6,80	0,127	3610
7,00	9,32	0,176	6420
10,00	11,07	0,261	9170
12,00	11,62	0,276	9010
27,00	20,62	0,551	26145

В случае квадратичной зависимости ( $y = ax^2 + bx + c$ ) параметры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  определяются из системы уравнений

$$\begin{aligned} a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i; \\ a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i &= \sum_{i=1}^n x_i y_i; \\ a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i + cn &= \sum_{i=1}^n y_i. \end{aligned} \quad (1.23)$$

Оптимальная грузоподъёмность автосамосвала по критерию *удельные приведенные затраты* определяется по формуле

$$G_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{120Lq\kappa_n\kappa_p\rho \left[ \frac{(A_1 + A_4m)}{v_{\text{cp}}} + t_{\text{см}}A_3 \right]}{(A_2 + A_5m)t_{\text{ц}}\kappa_t}}, \quad (1.24)$$

где  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ , – значения свободных членов и коэффициентов уравнений регрессий (определяются по данным таблицы 1.17);

$v_{\text{cp}}$  – средняя скорость транспортирования грунта, км/ч;

$t_{\text{см}}$  – время работы автосамосвала в смену, ч;

$t_{\text{ц}}$  – рабочий цикл экскаватора, мин.

Полученное выражение для определения оптимальной грузоподъёмности автосамосвала позволяет не только определить искомую грузоподъёмность автосамосвала для конкретных условий функционирования комплекта машин экскаваторов-автосамосвалов, но и

исследовать влияние различных факторов на оптимальную грузоподъемность.

Потребное число автосамосвалов при оптимизации по критерию *удельных приведенных затрат*

$$N = 1 + \sqrt{\frac{120Lq\kappa_n\kappa_p\gamma(A_2 + A_5m)}{(A_1 + A_4m + A_3t_{cm}v_{cp})t_{ц}\kappa_r v_{cp}}}. \quad (1.25)$$

Потребное число автосамосвалов при оптимизации по критерию *себестоимости разработки и транспортировки единицы грунта*

$$N = 1 + \sqrt{\frac{120Lq\kappa_n\kappa_p\gamma A_2}{(A_1 + A_3t_{cm}v_{cp})t_{ц}\kappa_r v_{cp}}}. \quad (1.26)$$

## 1.6 Формирование состава экскаваторного комплекта машин

Земляные работы являются наиболее трудоёмкими в строительстве и в силу этого требуют применения комплексной механизации, при которой механизмируются не только основные, но и вспомогательные операции производственного процесса.

При комплексной механизации работы выполняются с помощью комплектов машин, взаимно дополняющих друг друга и увязанных между собой в механизированной цепи.

Основные условия правильного комплектования машин для производства земляных работ комплексно-механизированным способом следующие:

1) количество машин, участвующих в технологическом процессе, должно быть минимальным, а конструкции и параметры их полностью соответствовать условиям работы;

2) в составе каждого комплекта машин выделяется одна или несколько ведущих, которые, в основном, определяют организацию работ всего комплекта машин, его производительность и темпы производства работ;

3) состав комплекта машин должен обеспечить направленность потока грунта от места его разработки до места отсыпки в насыпь или отвал; производительность машин, входящих в комплект, должна быть выше, чем основной ведущей машины для обеспечения фронта работ.

Выбор наиболее целесообразного способа производства земляных работ необходимо производить в следующем порядке:

1) установить процессы, входящие в полный технологический комплекс, и объемы работ по каждому процессу;

2) исходя из объемов работ и сроков его выполнения, характеристик земляного сооружения, дальности перевозок и т.д., определить

возможные в данных условиях способы механизации отдельных процессов (два варианта);

3) назначить по каждому варианту ведущие и комплектующие машины, определить их количество, установить режим работы машин, состав и количество обслуживающего персонала;

4) сравнить намеченные способы комплексной механизации производства работ по технико-экономическим показателям с выбором наиболее целесообразного способа производства земляных работ.

Ниже приведена последовательность расчета технико-экономических показателей сравниваемых комплектов для выполнения земляных работ.

1 Определяют срок выполнения земляных работ:

$$T = \frac{Vk_{п}}{0,71N_{в}П_{3}n}, \quad (1.27)$$

где  $V$  – рабочий объём грунта, м<sup>3</sup>;

$k_{п}$  – коэффициент, учитывающий потери грунта при транспортировании из карьеров, или недобор грунта в выемках (для разработки выемок  $k_{п} = 0,92$ );

$N_{в}$  – количество ведущих машин, шт.;

$П_{3}$  – эксплуатационная производительность ведущей машины, м<sup>3</sup>/ч;

$n$  – число рабочих смен в сутках.

2 Для выполнения работ в установленные сроки подсчитывают требуемую сменную производительность комплекта машин, м<sup>3</sup>/см:

$$П_{к} = \frac{V}{Tn}. \quad (1.28)$$

3 Рассчитывают требуемое количество машин в комплекте. Для этого в каждом варианте, учитывая среднюю дальность перемещения грунта, выбирают одну ведущую машину. По норме машинного времени на измеритель [17], принимая сменный характер работы в день (по 8 часов в смену) определяют дневную выработку (производительность) ведущей машины по формуле (1.2).

Например, выработка экскаватора ЭО-5122 при  $T = 8$  ч;  $V_{изм} = 1000$  м<sup>3</sup>;  $H_{вр} = 16,05$  маш.ч [17, Е 1-17-1] по формуле (1.2)

$$V_{дн} = \frac{8 \cdot 1000}{16,05} = 498 \text{ м}^3/\text{см}.$$

Аналогично производят расчет производительности комплектующих машин. Например, производительность бульдозера ShantuiSD 16 при разравнивании грунта при  $T = 8$  ч;  $V_{изм} = 100$  м<sup>3</sup>;  $H_{вр} = 5,35$  маш.ч [17, Е 1-17-1]

$$\dot{I}_{Shantui SD16} = \frac{8 \cdot 1000}{5,35} = 1487 \text{ ì }^3/\text{ñ}.$$

Производительность автогрейдера Volvo G930 при  $T = 8$  ч;  $V = 1000 \text{ м}^2$ ;  $H_{\text{вр}} = 0,51$  маш.·ч [17, Е 1-145-2]

$$\Pi_{Volvo G930} = \frac{8 \cdot 1000}{0,51} = 15686 \text{ м}^2/\text{см}.$$

Производительность поливомоечной машины

$$\Pi = 8 \cdot 3600 v_p (B - a) k_b / \kappa, \quad (1.29)$$

где  $8$  – продолжительность смены, ч;

$v$  – рабочая скорость, м/с;

$B$  – ширина обрабатываемой полосы, м;

$a$  – ширина перекрытия смежных следов, м;

$k_b$  – коэффициент сменного использования рабочего времени;

$\kappa$  – количество проходов по одному следу, шт.

Количество проходов и величина перекрытия смежных следов вычисляются по формулам

$$\kappa = \frac{B}{b}; \quad (1.30)$$

$$a = \frac{b\kappa - B}{\kappa - 1}, \quad (1.31)$$

где  $a$  – ширина перекрытия смежных следов, м;

$b$  – ширина слоя, м.

Величина перекрытия смежных следов и количество проходов по ширине слоя составят при  $B = 7$  м;  $b = 2,3$  м

$$n = \frac{7,5}{2,3} = 4 \text{ прохода}; \quad a = \frac{2,3 \cdot 4 - 7,5}{4 - 1} = 0,57 \text{ м}.$$

При  $T = 8$  ч;  $v_p = 2,2$  м/с;  $b = 2,3$  м;  $a = 0,57$  м;  $\kappa = 4$ ;  $k_b = 0,85$  производительность поливомоечной машины, определяемая по формуле (1.29), будет равна

$$\Pi = \frac{8 \cdot 3600 \cdot 2,2 \cdot (2,3 - 0,57) \cdot 0,85}{4} = 21138,48 \text{ м}^2/\text{см}.$$

Производительность катка

$$\dot{I}_{\hat{e}} = \frac{8L_c \dot{I}_0 (b_{\hat{e}} - \hat{a}) \hat{e}_{\hat{a}}}{\left( \frac{L_c}{v_{\hat{d}}} + t_{i\hat{a}} \right) \hat{e}}, \quad (1.32)$$

где  $L_3$  – длина захватки, м;

$H_0$  – толщина уплотняемого слоя в плотном теле, м;

$b_k$  – ширина вальца катка, м;

$t_{\text{пов}}$  – время на поворот, с.

При расчете производительности катка величины  $a$  и  $\kappa_B$  можно принять равными:  $a = 0,2$  м;  $\kappa_B = 0,8 \dots 0,9$ .

Производительность вибрационной машины

$$\dot{V}_{\text{вэд}} = \frac{8(b_e - \dot{\alpha}) \dot{V}_0 v_d \dot{e}_d}{e}; \quad (1.33)$$

трамбующей машины –

$$\Pi_{\text{тр}} = \frac{8B_{\text{п}} H_0 v_p \kappa_B}{\kappa}, \quad (1.34)$$

где  $B_{\text{п}}$  – ширина уплотняемой полосы, м.

Толщину уплотняемого слоя грунта в плотном теле рекомендуется определять расчетом для различных уплотняющих средств.

Для катков с гладкими вальцами

$$H_0 = \chi \frac{W_{\text{ф}}}{W_{\text{опт}}} \sqrt{q_{\text{л}} R_{\text{к}}}, \quad (1.35)$$

где  $\chi$  – коэффициент, равный для связных грунтов – 0,25; для несвязных – 0,35;

$W_{\text{ф}}$  – фактическая влажность грунта, %;

$W_{\text{опт}}$  – оптимальная влажность грунта, %;

$q_{\text{л}}$  – удельное линейное давление, Па;

$R_{\text{к}}$  – радиус вальца катка, см.

Для кулачковых катков

$$H_0 = 0,65(l_{\text{к}} + 0,2p_{\text{к}} - h_{\text{р}}), \quad (1.36)$$

где  $l_{\text{к}}$  – длина кулачка, см;

$p_{\text{к}}$  – минимальный размер опорной поверхности кулачка, см;

$h_{\text{р}}$  – глубина рыхления уплотненного слоя грунта кулачками, см (около 5 см).

Для катка на пневматических шинах

$$H_0 = 0,53 \frac{W_{\text{ф}}}{W_{\text{опт}}} \sqrt{P_{\text{к}}}, \quad (1.37)$$

где  $P_{\text{к}}$  – нагрузка на колесо катка, Н.

Для трамбующих машин

$$H_0 = 0,7 \frac{W_{\phi}}{W_{\text{опт}}} H_{\text{пр}}, \quad (1.38)$$

где  $H_{\text{пр}}$  – предельная толщина уплотнения грунта, мм ( $H_{\text{пр}} = 40 \dots 120$  мм).

Ориентировочная толщина хорошо уплотненного слоя грунта (в плотном теле) различными машинами представлена в таблице 1.18.

Таблица 1.18 – Толщина уплотненного грунта

Вид уплотняющей машины	Масса машины или уплотняющего органа, т	Толщина уплотненного слоя грунта, см
Кулачковый прицепной каток	9–18	15–25
Прицепной каток на пневмошинах	12–15	10–20
Полуприцепной каток на пневмошинах	23–30	20–35
Полуприцепной каток на пневмошинах	40–60	25–40
Решетчатый прицепной каток	25–35	25–40
Трамбующая машина	Навесная на тракторе	30–50
Трамбующая плита на экскаваторе	2	70–90

Необходимое число проходов по одному следу в зависимости от требуемой степени уплотнения и типа машин определяют по формулам:

– для катков всех типов –

$$\kappa = \frac{A_{\text{уд}} H_0}{q_{\text{к}} f_{\text{к}}}, \quad (1.39)$$

где  $A_{\text{уд}}$  – удельная работа машин для уплотнения: для связных грунтов  $A_{\text{уд}} = 2$  Н·м при коэффициенте уплотнения  $K = 0,95$ ;  $A_{\text{уд}} = 4$  Н·м при  $K = 0,98$ ;  $A_{\text{уд}} = 6$  Н·м при  $K = 1,00$ ; (для несвязных грунтов значения  $A_{\text{уд}}$  уменьшают в 1,5 раза);

$H_0$  – толщина уплотняемого слоя в плотном теле, см;

$q_{\text{к}}$  – линейное давление катка, кН/м, определяемое из выражения

$$q_{\text{к}} = \frac{G_{\text{к}}}{B_{\text{к}}}; \quad (1.40)$$

$G_{\text{к}}$  – сила тяжести катка, кН;

$B_{\text{к}}$  – ширина рабочей площади катка (длина образующей цилиндра), м;

$f_{\text{к}}$  – коэффициент сопротивления движению катка;

– для трамбуемых машин всех типов –

$$\kappa = \frac{A_{\text{уд}} H_0}{q_0 h_{\text{т}}}, \quad (1.41)$$

где  $q_0$  – статическое давление трамбуемого органа машины, МПа, определяемое из выражения

$$q_0 = \frac{G_0}{F} \quad (1.42)$$

$G_T$  – вес трамбовки, Н;

$F$  – площадь основания трамбовки, м<sup>2</sup>;

$h_T$  – высота падения трамбуемого органа, м.

Производительность автосамосвала можно определить, используя методику, рассмотренную выше, или из выражения

$$П_a = \frac{8Q_k \kappa_B \kappa_T}{T_{ц}}, \quad (1.43)$$

где  $\kappa_B$  – коэффициент использования автосамосвалов по времени ( $\kappa_B = 0,8...0,9$ );

$\kappa_T$  – коэффициент использования автосамосвалов по грузоподъемности,  $\kappa_T = 0,8...1,2$ .

Потребность в машино-сменах определяют по формуле

$$m_c = \frac{V}{П}, \quad (1.44)$$

где  $V$  – объем работ;

$П$  – сменная производительность в измерителе.

Например, затраты машинного времени на транспортирование грунта при  $V = 498 \text{ м}^3$ ;  $П = 69 \text{ м}^3/\text{смену}$  составят

$$m = \frac{498}{69} = 7,54 \text{ маш.см.}$$

Учитывая объем грунта  $V$ , разрабатываемого ведущей машиной, срок выполнения работ  $T$  и дневную выработку ведущей машины  $V_{\text{дн}}$ , определяют требуемое количество машин:

$$N_B = \frac{V}{V_{\text{дн}} T}, \quad (1.45)$$

где  $N_B$  – число ведущих машин, шт.

Определяют тип и количество комплектующих машин в каждом комплекте. Подсчитывают количество машино-смен работы каждой из машин комплекта. Поскольку ведущие машины работают дольше остальных машин в пределах заданного срока, возможен учет повышения производительности комплектующих машин в пределах до 20 %.

Количество вспомогательных машин в отряде определяют по формуле

$$N_{\text{всп}} = \frac{N_B V_{\text{дн}}^{\text{всп}} \kappa_B}{V_{\text{дн}}^{\text{всп}}}, \quad (1.46)$$

где  $V_{\text{дн}}^{\text{всп}}$  – дневная выработка вспомогательной машины, м<sup>3(2)</sup>/см.

Расчётное значение числа вспомогательных машин округляют в большую сторону и определяют коэффициент использования вспомогательных машин по формуле

$$K_{\text{исп}} = \frac{N_{\text{расч}}}{N_{\text{всп}}}, \quad (1.47)$$

4 Устанавливают первый технико-экономический показатель – фактическое время работы каждого комплекта машин при условии выполнения ими норм выработки на 100 %:

$$T_{\text{к}} = \frac{V}{V_{\text{дн}} N_{\text{в}}}, \quad (1.48)$$

5 Находят второй технико-экономический показатель – трудоемкость разработки 1 м<sup>3</sup> грунта, чел.ч., делением общих трудовых затрат  $Q$ , чел.смен, на объем работ:

$$t_{\text{р.гр.}} = \frac{8 \sum Q_i N_i n}{V}, \quad (1.49)$$

где  $Q_i$  – трудоемкость разработки грунта  $i$ -той машиной;

$N_i$  – количество  $i$ -тых машин;

$n$  – количество смен работы машин.

6 Рассчитывают третий технико-экономический показатель – себестоимость единицы продукции:

$$C = \frac{1,943 \sum (Z_{\text{маш}}^i + C_{\text{маш.см}}^i)}{\Pi_{\text{см.к}}}, \quad (1.50)$$

где  $Z_{\text{маш}}^i$  – зарплата машинистов  $i$ -той машины, руб;

$C_{\text{маш.см}}^i$  – стоимость использования  $i$ -той машины комплекта за смену, руб.;

$\Pi_{\text{см.к}}$  – сменная выработка комплекта, м<sup>3</sup>.

Здесь величина накладных расходов назначается от суммы зарплаты машинистов и стоимости использования машин комплекта в размере 94,3 %.

7 Определяют четвертый технико-экономический показатель – удельные капитальные вложения на выполнение единицы работ, которые представляют собой затраты на создание новых, реконструкцию и расширение действующих основных фондов на разработку 1 м<sup>3</sup> грунта для каждого комплекта машин и показывают размер капиталовложений на единицу производственной мощности. Чем ниже величина этого показателя, тем более эффективно принятое проектное решение. Расчетная формула

$$K = \frac{1,07}{\Pi_{\text{см}}} \sum \frac{C_{\text{ир}}}{t_{\text{г}}}, \quad (1.51)$$

где 1,07 – коэффициент, учитывающий затраты по доставке машин с завода-изготовителя на базу механизации;

$C_{ир}$  – инвентарно-расчетная оптовая стоимость машин, входящих в комплект (таблицы Б.2 – Б.5), руб.;

$t_r$  – нормативное число смен работы машин в году (приложение Б).

8 Устанавливают пятый технико-экономический показатель – приведенные удельные затраты. Они представляют собой сумму текущих затрат на производство продукции (ее себестоимость) и нормативной прибыли (народнохозяйственных издержек, связанных с капитальными вложениями и приведенных к одинаковой годовой размерности в соответствии с нормативным коэффициентом эффективности капитальных вложений  $E_n$ ):

$$П = C + KE_n, \quad (1.52)$$

где  $E_n$  – величина, обратная сроку окупаемости капитальных вложений, принимаемая равной 0,15.

9 Выполняют сравнение двух вариантов комплексной механизации земляных работ и высчитывают экономический эффект, отнесенный к 1 м<sup>3</sup> грунта, при применении оптимального варианта

$$\dot{Y} = (\tilde{N}_1 - \tilde{N}_2) + \dot{A}_1 (\dot{E}_1 - \dot{E}_2), \quad (1.53)$$

где  $(C_1 - C_2)$  – разница в себестоимости выполнения работ по сравниваемым вариантам, руб.;

$(K_1 - K_2)$  – разница в стоимости основных и оборотных фондов по сравниваемым вариантам, руб.

Технико-экономические показатели по вариантам сводят в итоговую таблицу 1.19, по данным которой выбирается оптимальный вариант производства работ.

Комплект машин следует назначать из условий обеспечения максимальной производительности ведущих машин, а также наименьших трудоемкости и стоимости работ в конкретных инженерно-геологических и климатических условиях объектов работ. Рекомендуемый состав комплекта и комплексной бригады при разработке выемки с использованием различных типов экскаваторов с разным рабочим оборудованием представлен в приложении В.

Таблица 1.19 – Технико-экономические показатели по вариантам

Показатели	Варианты	
	1	2
Продолжительность работы, смен		
Трудоемкость разработки 1 м <sup>3</sup> , чел.·ч		
Себестоимость разработки 1 м <sup>3</sup> , руб.		
Удельные капитальные вложения разработки 1 м <sup>3</sup> , руб.		
Приведенные удельные затраты на		

разработку 1 м <sup>3</sup> грунта, руб.		
--	--	--

Несмотря на то, что в комплексном технологическом процессе производительность вспомогательных машин часто используется не полностью, перебрасывание их из одного комплекта в другой не допускается.

Результаты по подобранному комплекту машин сводят в таблицу 1.20.

Таблица 1.20 – Состав отряда по земляным работам

Машины и механизмы				Состав бригады		
наименование	марка	количество, шт.	$K_{исп}$	профессия	разряд	численность, чел.

## 2 ТЕХНОЛОГИЯ ЭКСКАВАТОРНЫХ РАБОТ

### 2.1 Проектирование забоев экскаватора

Рабочее место экскаватора, включая стоянки транспортных средств, называется *забоем*, а разрабатываемые по мере передвижения экскаватора участки грунта – *проходками*. Когда разработку ведут в отвал, к забою относят также площадку для размещения выгружаемого из ковша грунта. Размеры забоя (ширина и глубина) зависят от типа экскаватора, его рабочих параметров, вида транспортных средств и расположения подъездных путей, группы и влажности грунта, квалификации машинистов.

К основным рабочим параметрам экскаватора, оказывающим влияние на размеры забоя, относятся: высота напорного вала (для прямой лопаты); максимальный рабочий радиус резания (черпания); радиус резания на уровне стоянки экскаватора; глубина или высота (для прямой лопаты) резания; радиус и высота выгрузки в транспортные средства; длина рабочей передвигки, представляющей собой расстояние между двумя последовательными стоянками экскаватора. Проектирование забоев заключается в определении их возможных геометрических размеров.

#### 2.1.1 Забой прямой лопаты

Основными видами забоев (проходок) для экскаваторов, оборудованных прямой лопатой, являются лобовая (продольная) и боковая (поперечная).

Не все проходки образуются одинаково. Когда экскаватор прорезает массив в первый раз, он продвигается вперед за счет фронтальной разработки траншеи – копания ее лобовой стенки. Проходки такого рода называют фронтальными или лобовыми, а первую траншею – пионерной.

Лобовые проходки в зависимости от ширины подразделяют на узкие (ширина проходки 0,8–1,5 величины наибольшего радиуса копания  $R$ ), нормальные (ширина 1,5–1,9 $R$ ) и широкие (ширина более 2 $R$ ).

Узкие котлованы шириной до  $1,5R$  разрабатывают лобовой проходкой с односторонней погрузкой в транспортные средства (рисунок 2.1), при ширине  $1,5-1,9R$  – с двусторонней попеременной подачей транспортных средств (рисунок 2.2), что исключает простои экскаватора при смене подгрузкой транспортных средств. При данных забоях экскаватор перемещается в котловане прямолинейно по оси забоя.

Котлованы шириной  $1,8-2,5R$  целесообразно разрабатывать уширенной лобовой проходкой с перемещением экскаватора по зигзагу (рисунок 2.3) с двусторонней или односторонней погрузкой. В таких забоях сокращаются холостые проходки экскаватора и облегчаются условия для маневрирования и установки под погрузку самосвалов. При ширине до  $3,5R$  работы ведут поперечно-лобовой проходкой с двусторонней погрузкой грунта в транспортные средства (рисунок 2.4).

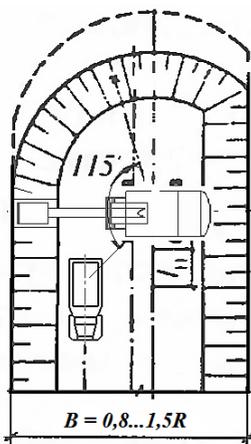


Рисунок 2.1 – Лобовая проходка с односторонней погрузкой грунта в автосамосвалы

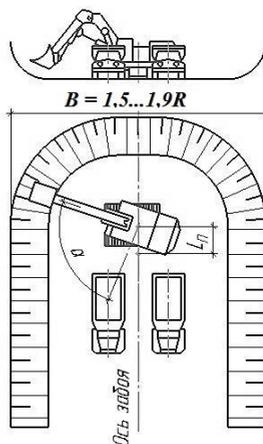


Рисунок 2.2 – Лобовая проходка с двусторонней погрузкой грунта в автосамосвалы

Лобовая проходка неблагоприятна в том отношении, что при расположении транспортных средств позади экскаватора необходим поворот с большим углом (до  $180^\circ$ ) для разгрузки ковша. В траншее надо выполнять многочисленные маневры транспортных средств, которые часто затруднены. Это обуславливает замедление работы и снижение выработки. Поэтому рекомендуют лобовую проходку применять только в случаях крайней необходимости для первого прохода экскаватора по короткой выемке. Для повышения производительности машины ширину лобовой проходки следует принимать наибольшей.

Наиболее благоприятные условия создаются при боковой проходке, которая возможна, когда одна из боковых поверхностей массива уже открыта. При этом ширина фронта копания уменьшается, транспортные средства подъезжают сбоку, угол поворота экскаватора на разгрузку уменьшается, а производительность его увеличивается.

В зависимости от уровня стоянки экскаватора и транспортных средств боковые забои делят на одноярусные (рисунок 2.5) и двухъярусные (рисунок 2.6).

Параметры проходок должны обеспечивать возможность работы ковшом экскаватора принятого типа с наименьшими затратами времени на выполнение рабочего цикла экскавации, состоящего из наполнения ковша грунтом, поворота к месту выгрузки и обратного поворота к забою.

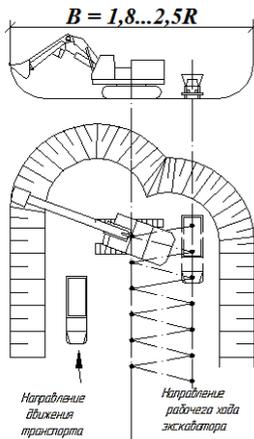


Рисунок 2.3 – Уширенная лобовая проходка с перемещением экскаватора по зигзагу экскаватора

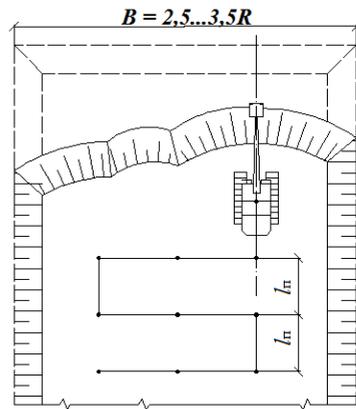


Рисунок 2.4 – Уширенная лобовая проходка с продольно-поперечным перемещением

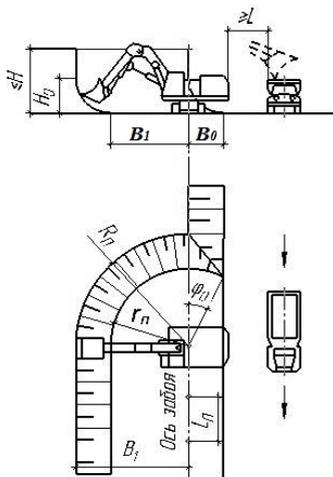


Рисунок 2.5 – Схема бокового одноярусного забоя прямой лопаты

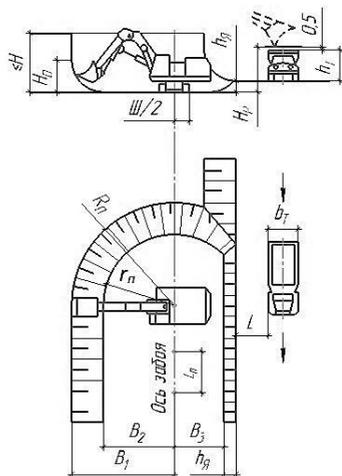


Рисунок 2.6 – Схема бокового двухъярусного забоя прямой лопаты

Для обеспечения указанного требования принимают: ширину забоев с таким расчетом, чтобы экскаватор мог работать при средней величине углов поворота не более  $70^\circ$ ; глубину (высоту) забоев не меньше длины стружки грунта, необходимой для заполнения ковша с «шапкой» за один прием черпания; длину проходок с учетом возможно меньшего количества вводов и выводов экскаватора в забой и из забоя, сопряженных с потерями производительности машины; уклоны дна проходок, предотвращающие приток и скопление в забоях грунтовых и поверхностных вод с устройством водоотводной канавы в месте расположения проектного кювета.

Наибольшая высота копания ( $H$ ) регламентирует максимальную высоту забоя при работе экскаватора с грунтами в естественном состоянии. Наиболее эффективная высота разработки грунта прямой лопатой должна быть  $0,8-1,2$  высоты напорного вала ( $H_{нв}$ ). Для разрыхленных скальных грунтов при равномерном разрыхлении, исключая образование козырьков, высоту забоя допустимо увеличивать до  $1,5H$ .

Наименьшая высота забоя определяется условием наполнения ковша с «шапкой» за одно рабочее движение рукояти и должна быть не менее  $1/3H_{нв}$  в нескальных грунтах и не менее  $1/4H_{нв}$  – в скальных.

Ориентировочные размеры проходок (забоев) для разработки грунта экскаватором с оборудованием прямая лопата рекомендуется принимать по таблице 2.1.

Параметры проходок определяют также расчетным путем.

В начале процесса копания ковш обычно находится в нижней части забоя. При этом, чтобы обеспечить заглубление, создают близкое к наибольшему напорное усилие. По мере подъема оно уменьшается и, когда рукоять занимает примерно горизонтальное положение, становится близким к нулю. Толщина стружки и усилие резания в этот момент максимальны. Поворота рукояти в вертикальной плоскости примерно до высоты напорного вала  $H_{нв}$ , соответствующей горизонтальному положению рукояти экскаватора на уровне седлового подшипника и при среднем положении стрелы, бывает достаточно, чтобы произошло наполнение ковша.

При необходимости можно продолжать копание с дальнейшим увеличением угла поворота рукояти вплоть до достижения его конструктивно возможной величины.

Высота напорного вала  $H_{нв}$ , м, может быть определена по эмпирической формуле

$$H_{нв} = (0,1 \dots 0,12) \sqrt[3]{G_3}, \quad (2.1)$$

где  $G_3$  – масса экскаватора, кг.

Работа экскаватора с наибольшим радиусом копания ( $R$ ) и малой толщиной стружки представляет невыгодный режим нагружения силовой установки машины, поэтому она систематически не практикуется.

Практические радиусы копания:

– на уровне высоты напорного вала –

$$R_{II} = (0,8 \dots 0,85)R; \quad (2.2)$$

– на уровне стоянки экскаватора –

$$r_{II} = 0,9r, \quad (2.3)$$

где  $r$  – радиус копания на уровне стоянки экскаватора, м.

**Таблица 2.1 – Рекомендуемые параметры разработки грунтов в карьере экскаватором**

Показатели	Размеры проходки (забоя), м, при разработке грунта с погрузкой в транспортные средства при вместимости ковша			
	0,5	0,65	1–1,35	1,5
<i>Погрузочный путь на уровне подошвы забоя</i>				
Ширина подошвы забоя от оси пути экскаватора:				
до стенки забоя	4,0	4,5	5,0	5,0
до места погрузки грунта	2,8	3,0	3,6	3,6
<i>Погрузочный путь выше уровня</i>				

<i>подошвы забоя</i>				
Ширина подошвы забоя от оси пути экскаватора:				
до стенки забоя	4,0	4,5	5,0	5,0
до места погрузки грунта	2,5	3,0	2,5	2,5
Предельная высота верхней кромки борта кузова транспортного средства над уровнем подошвы забоя	4,5	5,5	5,5	5,0
Наибольшая высота резания	6,5	6,5–8,0	8,0–9,0	9,0–9,9
Наименьшая высота забоя, обеспечивающая наполнение ковша экскаватора с «шапкой» в грунтах:				
легких (I и II групп)	1,5	2,5	3,0	3,0
средних (III группы)	2,5	4,5	4,5	4,5
тяжелых (IV группы)	3,5	5,5	6,0	6,0
Наименьшая допустимая высота забоя в грунтах:				
легких (I и II групп)	0,7	0,7	0,9	0,9
средних (III группы)	1,0	1,0	1,15	1,3
тяжелых (IV группы)	1,5–2,1	1,8–2,5	1,8–2,5	2,0–2,5

Длина передвижки экскаватора

$$l_{\text{п}} = 1,7\sqrt{q}, \quad (2.4)$$

где  $q$  – вместимость ковша экскаватора,  $\text{м}^3$ .

В боковом забое очертание откоса одной из его половин (например, левые половины забоев на рисунках 2.5 и 2.6 в пределах от подошвы до высоты напорного вала  $H_{\text{нв}}$  представляют собой кривую с постепенно увеличивающимся радиусом. Выше уровня  $H_{\text{нв}}$  откос обычно имеет неправильное очертание, зависящее от вида грунта, и его можно условно принимать вертикальным.

Геометрические размеры забоя определяют из рисунка 2.5.

Расстояние от оси забоя до верхней бровки бокового откоса

$$B_1 = \sqrt{R_{\text{п}}^2 - l_{\text{п}}^2}. \quad (2.5)$$

Расстояние от оси забоя до нижней бровки бокового откоса

$$B_2 = \sqrt{r_{\text{п}}^2 - l_{\text{п}}^2}. \quad (2.6)$$

Средний угол поворота на разгрузку при использовании боковой одноярусной проходки (рисунок 2.5) составляет  $50\text{--}90^\circ$ . Причем экскаватор располагают в забое, чтобы поворот на острие мыска происходил с углом  $\alpha_{\text{п}}$  не более  $45^\circ$ . Тогда расстояние от нижней кромки открытого борта до оси экскаватора

$$B_0 = r_n \sin \alpha_n \approx 0,707r_n. \quad (2.7)$$

Расстояние от оси экскаватора до кромки борта траншеи (рисунок 2.6)

$$B_3 = R_p^{cp} - 0,5b_T - h_{я} - 1,0, \quad (2.8)$$

где  $R_p^{cp}$  – средний радиус разгрузки, м,

$$R_p^{cp} = \frac{R_{вт} + R}{2}; \quad (2.9)$$

$R_{вт}$  – наибольший радиус выгрузки грунта в транспортные средства, м;

$b_T$  – ширина транспортного средства, м;

$h_{я}$  – высота яруса, м,

$$h_{я} = H_p - h_T - (0,5...0,8); \quad (2.10)$$

1,0 – запас ширины земельного пути для предотвращения обрушения грунта около бровки;

$H_p$  – наибольшая высота выгрузки грунта, м;

$h_T$  – высота транспортного средства от уровня его стоянки до верха бортов, м;

(0,5–0,8) – запас, учитывающий неровности пути и возвышения нагруженного грунта над бортами, м.

### 2.1.2 Забой обратной лопаты

Разработка грунта экскаваторами с обратной лопатой осуществляется торцевыми или боковыми проходками с перемещением экскаватора поверху забоя «на себя» с копанием грунта ниже уровня его стоянки. Последняя особенность важна в тех случаях, когда грунты увлажненные или мокрые.

Проектирование экскаваторных работ рекомендуется начинать с проверки условия

$$\frac{c_k}{R_n} \leq 3,5, \quad (2.11)$$

где  $c_k$  – ширина котлована поверху, м;

$R_n$  – практический радиус резания экскаватора, равный 0,8–0,9 максимального радиуса резания, м.

Если условие соблюдается, то независимо от вида рабочего оборудования принимают устройство котлована за одну проходку.

При этом котлованы шириной менее  $1,7R$  разрабатывают лобовой проходкой с перемещением экскаватора по прямой (рисунок 2.7); котлованы шириной от  $1,7$  до  $2,5R$  – уширенной лобовой проходкой с передвижкой машины по зигзагу (рисунок 2.8); а котлованы шириной от  $2,5$

до  $3,5R$  – уширенной лобовой проходкой с продольно-поперечным перемещением экскаватора (рисунок 2.9).

При несоблюдении условия, выраженного формулой (2.11), организуют несколько параллельных проходок, расположенных вдоль выемки, ширину которых принимают равной  $(1,2-1,3)R$  при погрузке грунта в транспорт и  $(0,5-0,8)R$  – при его отсыпке в отвал.

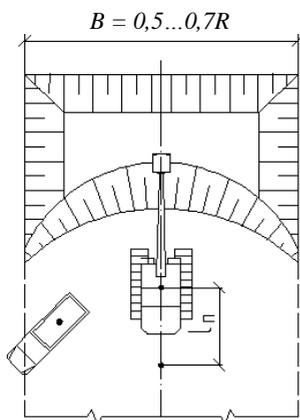


Рисунок 2.7 – Схема лобовой проходки

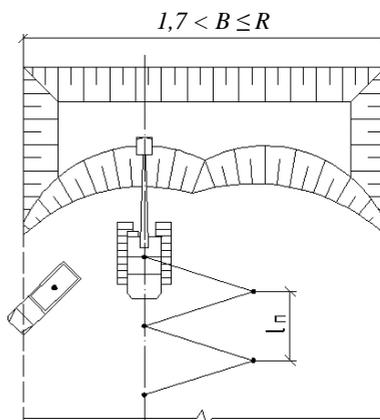
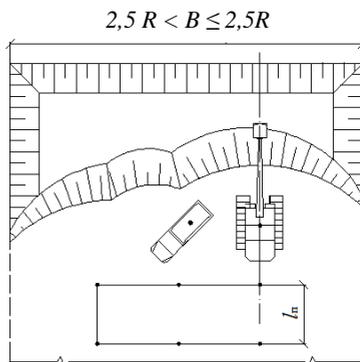


Рисунок 2.8 – Схема уширенной лобовой проходки с перемещением экскаватора по зигзагу

Рисунок 2.9 – Схема уширенной лобовой проходки с продольно-поперечным перемещением экскаватора



Торцевыми (лобовыми) проходками (рисунок 2.10) разрабатывают траншеи и другие узкие выемки с погрузкой грунта в транспортные средства или отвал.

При погрузке грунта в транспортные средства или односторонний отвал максимальная ширина лобовой проходки поверху

$$B = \sqrt{R_{\text{п}}^2 - l_{\text{п}}^2} + \left( R_{\text{вт}} - \frac{b_{\text{т}}}{2} - 1,0 \right). \quad (2.12)$$

При двухсторонней выгрузке грунта ширина проходки будет равна  $2 \left( R_{\text{вт}} - \frac{b_{\text{т}}}{2} - 1,0 \right)$ .

Боковыми проходками (рисунок 2.11) разрабатывают широкие выемки. Первая проходка является торцевой. Грунт от первой проходки грузят на транспортные средства или укладывают в отвал с последующим использованием его для обратной засыпки.

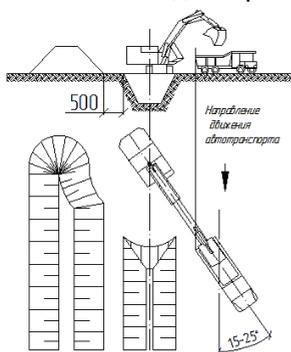


Рисунок 2.10 – Схема торцевой проходки

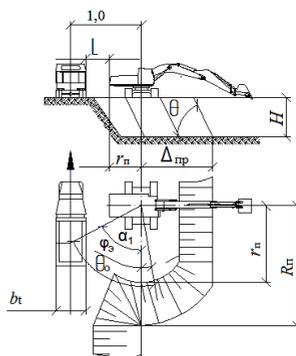


Рисунок 2.11 – Схема боковой проходки

Ширину первой проходки определяют по формуле (2.12), а каждой последующей –

$$B = \sqrt{R_{\text{п}}^2 - l_{\text{п}}^2} + \left( R_{\text{вт}} - mH - \frac{b_{\text{т}}}{2} - 1,0 \right), \quad (2.13)$$

где  $m$  – коэффициент заложения откоса,  $m = 1,5$ ;

$H$  – высота забоя, м.

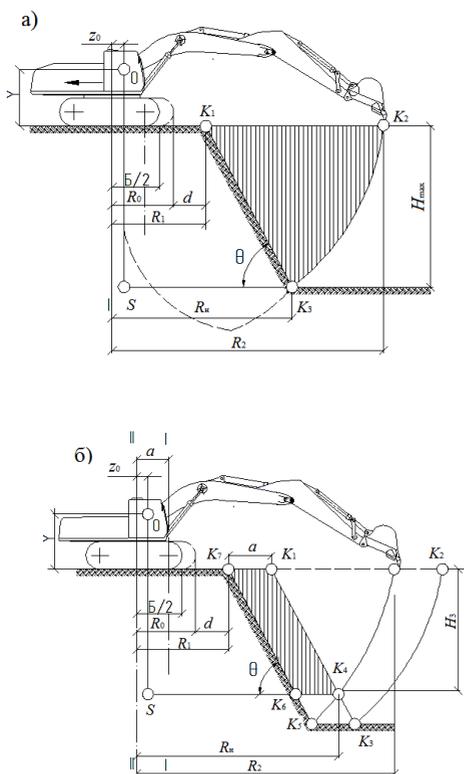


Рисунок 2.12 – Определение параметров глубины при разработке выемок обратной лопатой:

*a* – при определении наибольшей глубины копания;

*б* – при определении глубины разработки с планировкой дна выемки

и местом выхода зубьев ковша из грунта при полностью повернутой к стреле рукояти. Наименьший радиус копания не должен быть меньше  $R_0 + 1$  м для обеспечения безопасной работы.

Наибольший радиус копания на уровне стоянки  $R_2$  определяется расстоянием между осью вращения экскаватора и зубьями ковша, установленными на поверхности стоянки экскаватора при наибольшем угле поворота рукояти относительно стрелы.

При разработке грунта и его погрузке в транспортные средства величина углов поворота экскаватора не должна превышать в среднем  $70^\circ$ .

Как в лобовом, так и в боковом забое ось рабочего передвижения экскаватора с целью уменьшения угла поворота следует смещать в сторону транспортных средств.

Основные параметры забоя экскаватора, оборудованного обратной лопатой, приведены на рисунке 2.12.

Радиус габаритной установки, необходимый для обеспечения возможности свободной обработки откоса выемки снизу доверху,

$$R_0 = 0,5\sqrt{A^2 + B^2}, \quad (2.14)$$

где *A*, *B* – габаритные длина и ширина движителя экскаватора, м.

Наименьший радиус копания на уровне стоянки машины  $R_1$  определяется расстоянием между осью вращения экскаватора

Радиус копания на заданной глубине  $R_{\text{н}}$  зависит от глубины разработки. Чем больше глубина разработки, тем меньше величина радиуса копания на заданной глубине.

Наибольшая глубина копания  $H_{\text{max}}$  определяется расстоянием между уровнем стоянки экскаватора и зубьями ковша при наибольшем возможном наклоне стрелы вниз. Наибольшую глубину копания (см. рисунок 2.12, *a*) при заданных наименьшем и наибольшем радиусах копания на уровне стоянки экскаватора, заданной крутизне откоса определяют из треугольника  $OSK_3$ :

$$OS^2 + SK_3^2 = OK_3^2, \quad (2.15)$$

откуда

$$(y + H_{\text{max}})^2 + [R_0 - z_0 + d + H_{\text{max}} \operatorname{tg}(90^\circ - \theta)]^2 = (R_2 - z_0)^2 + y^2. \quad (2.16)$$

Корни этого уравнения

$$H_{\text{max}} = \frac{-F \pm \sqrt{F^2 - 4TM}}{2T}, \quad (2.17)$$

$$T = 1 + \operatorname{tg}^2(90^\circ - \theta); \quad (2.18)$$

$$F = 2y + 2(R_1 - z_0)\operatorname{tg}(90^\circ - \theta); \quad (2.19)$$

$$M = (R_1 - z_0)^2 - (R_2 - z_0)^2. \quad (2.20)$$

После выработки грунта из контура  $K_1K_2K_3$  стоянки *I-I* экскаватор перемещается в направлении, показанном стрелкой (см. рисунок 2.12, *a*), и с новой стоянки *II-II* (см. рисунок 2.12, *б*) может разрабатывать грунт на соответствующую глубину. При этом контур разработки будет  $K_1K_4K_6K_7$ .

Для обеспечения ровной поверхности дна выемки глубину разработки необходимо уменьшить. Глубина выемки с ровным основанием зависит от крутизны откоса и передвижки и определяется из треугольника  $OSK_4$ .

Так как

$$OS^2 + SK_4^2 = OK_4^2, \quad (2.21)$$

то глубина разработки

$$H_3 = (-F \pm \sqrt{F_1^2 - 4T_1M_1}) / (2T_1), \quad (2.22)$$

где  $T_1 = 1 + \operatorname{tg}^2(90^\circ - \theta)$ ;  $F_1 = 2y + 2(R_1 - z_0 + a)\operatorname{tg}(90^\circ - \theta)$ ;

$$M_1 = (R_1 - z_0 + a)^2 - (R_2 - z_0)^2.$$

*Передвижкой* называется процесс передвижения экскаватора на рабочем месте после выработки определенного объема грунта.

При работе обратной лопатой передвижка зависит от требуемой глубины разработки: чем меньше глубина разработки, тем больше может быть передвижка.

Средний угол поворота на выгрузку  $\theta_0$  зависит от радиуса разгрузки, допустимого расстояния от оси хода экскаватора до оси землевозной дороги и ширины проходки (см. рисунок 2.12, *a*).

Для сокращения продолжительности цикла целесообразно вести работу широкими проходками. Ширина проходки для экскаваторов с обратной лопатой определяется так же, как для экскаваторов с прямой лопатой. Наибольшая ширина боковой проходки с погрузкой грунта в самосвалы назначается с учетом получения наименьшего среднего угла поворота на выгрузку (см. рисунок 2.12, *a*):

*Параметры разгрузки ковша.* Радиус разгрузки  $R_p$  определяют как расстояние между осью поворота экскаватора до режущей кромки ковша в тот момент, когда из него начинает высыпаться грунт. На экскаваторах с механическим приводом, где ковш жестко соединен с рукоятью, высыпание грунта из ковша осуществляется на определенном пути при повороте рукояти. Для механических экскаваторов различают начальный и конечный радиусы разгрузки.

Для гидравлических экскаваторов из-за независимого поворота ковша относительно рукояти разгрузка ковша возможна при различных положениях стрелы и рукояти. Для этих экскаваторов различают ближнее и дальнее места разгрузки: в первом случае разгрузка осуществляется с большой высоты, во втором случае высота разгрузки меньше, но радиус разгрузки больше.

### 2.1.3. Забой драглайна

При разработке выемок и резервов экскаватором с оборудованием драглайн во всех случаях, когда состояние грунта допускает движение транспортных средств по дну проходки, следует применять челночный способ погрузки грунта (рисунок 2.13), при котором углы поворота платформы экскаватора не превышают  $15^\circ$ , а также исключается дополнительное время на разгрузку ковша и реверсирование поворотного движения после разгрузки ковша.

Глубина забоя при разработке экскаватором с оборудованием драглайн

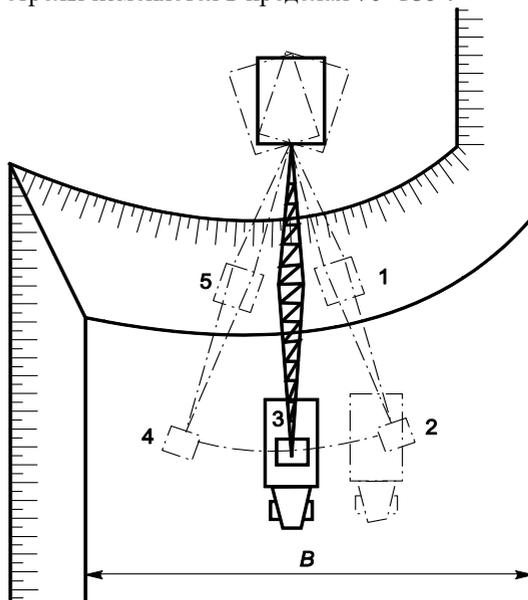
при угле наклона стрелы к горизонту 30–45° не должна превышать величины, приведенной в таблице 2.2.

При работе экскаватора с оборудованием драглайн с погрузкой грунта в транспортные средства, располагаемые в одном с ним уровне, максимальный угол поворота стрелы изменяется в пределах 70–180°.

Рисунок 2.13 – Схема работы экскаватора с оборудованием драглайн при загрузке автосамосвалов грунтом челночным способом:

1 и 5 – ковш заполнен грунтом;

2 – ковш поднят на высоту разгрузки, 3 – разгрузка ковша в момент прохождения стрелы над кузовом автомобиля; 4 – ковш опущен в забой для заполнения грунтом; *B* – ширина забоя



Глубина забоя при этом, как правило, должна быть не более 2/3 максимальной глубины разработки, приведенной в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Глубина забоя при разработке карьера экскаватором с оборудованием типа драглайн

Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Длина стрелы, м	Глубина проходки, м, при проходе	
		боковым	торцовом
0,4	10,5	4,5–5,5	7,0–7,5
0,8	10,0	4,4–5,4	7,0–7,5
	13,0	5,4–5,9	9,0–10,0
1,0	12,5	4,5–5,5	7,5
	15,0	5,5–6,5	9,5
1,5	12,5	5,0–6,0	7,5–9,5

Выемки разрабатывают экскаватором-драглайном за несколько боковых (рисунок 2.14) или одну лобовую проходку (рисунок 2.15). Преимуществами боковых проходок являются большая ширина

разрабатываемой полосы грунта, небольшие средние углы поворота машины и значительно большая глубина копания, возможность перемещения грунта на значительно большие расстояния, чем при работе в лобовых забоях. Однако ширина боковых забоев меньше лобовых, а глубина не превышает 2/3 полной глубины резания.

У торцевого забоя (рисунок 2.15) расстояние от оси экскаватора до верхней бровки бокового откоса рассчитывают по формуле

$$B_0 = \sqrt{R_k^2 - l_{II}^2}, \quad (2.23)$$

где  $R_k$  – наибольший радиус копания экскаватора, м;

$l_{II}$  – длина передвигки экскаватора, принимается равной 1/5 длины стрелы, м.

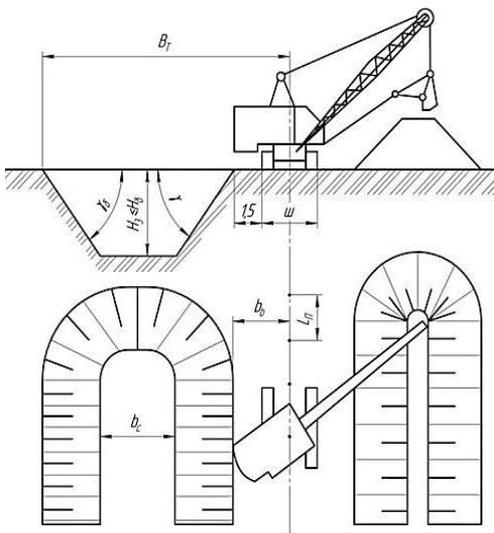


Рисунок 2.14 – Схема боковой проходки

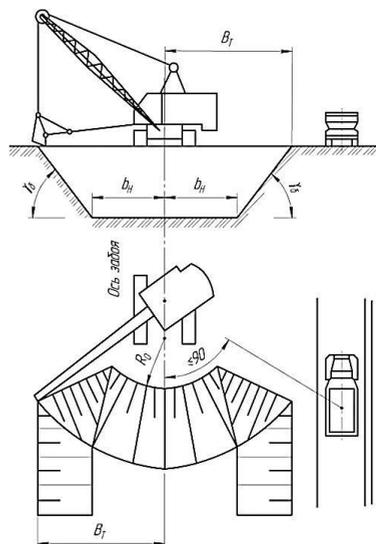


Рисунок 2.15 – Схема лобовой проходки

Расстояние до нижней бровки бокового откоса

$$b_1 = B_0 - H_3 \cdot \text{ctg} \gamma_6, \quad (2.24)$$

где  $H_3$  – наибольшая глубина забоя (таблица 2.2), м;

$\gamma_6$  – угол наклона бокового откоса к горизонту, принимаемый для грунтов I, II и III групп равным 85, 75 и 65° соответственно (в необходимых случаях угол  $\gamma_6$  может быть уменьшен до проектной крутизны откосов выемок).

Минимальный радиус копания на уровне стоянки

$$R_0 = 0,5\dot{A} + 1,5, \quad (2.25)$$

где Б – база экскаватора, м.

Длина передвижки

$$l_i = R_{\text{э}} - \dot{I}_3 \cdot \text{ctg}\gamma - R_0, \quad (2.26)$$

где  $\gamma$  – угол наклона торцового откоса к горизонту, принимаемый для грунтов I, II и III групп равным 50, 40 и 30° соответственно.

Согласно нормативам [22] рекомендуется принимать

$$l_i \leq 0,2\ddot{A}_n, \quad (2.27)$$

где  $D_c$  – длина стрелы драглайна, м.

При погрузке грунта на транспортные средства, подаваемые к экскаватору на одном с ним уровне, средний угол поворота экскаватора должен быть равен 70°. При разработке грунта навывмет ширина проходок должна быть такой, чтобы величина угла поворота при работе не превышала 90°.

При устройстве широких котлованов, а также насыпей из грунта резерва в ряде случаев применяют боковую проходку, ширина которой составляет около  $(0,7-0,8)R_c$ , а поворот стрелы экскаватора для разгрузки – 180°.

У бокового забоя (см. рисунок 2.14) расстояние от оси драглайна до верхней бровки дальнего откоса  $B_T$  определяют по формуле (2.23), а до верхней бровки ближнего откоса  $b_o$  – аналогично формуле (2.25):

$$b_o = 0,5\text{Ш} + 1,5. \quad (2.28)$$

При этом длиной передвижки  $l_n$  задаются в пределах 2–6 м, но не более 1/3 длины стрелы.

Ширина забоя по дну

$$b_c = B_o - b_a - H_3(\text{ctg}\gamma + \text{ctg}\gamma_a), \quad (2.29)$$

где  $\gamma$  – угол наклона бокового откоса к горизонту [см. формулу (2.26)].

### 2.1.4 Забои роторного экскаватора

Роторный экскаватор работает, как правило, в торцовом забое, аналогичном забою прямой лопаты. Минимальная высота забоя составляет 1,5–3 м, а максимальная зависит от способа резания грунта.

В плотных и средней плотности глинистых грунтах применяют резание вертикальными стружками высотой  $0,67d_p$  (где  $d_p$  – диаметр ротора, м), при этом экскаватор поочередно поворачивает стрелу по все ширине забоя и перемещается вперед на величину толщины стружки (рисунок 2.16).

После разработки верхнего блока толщиной, примерно равной  $0,67d_p$ , экскаватор возвращается в исходное положение и опускает ротор на величину  $0,67d_p$ . В этом случае максимальная высота забоя достигает наибольшей высоты капания от уровня стоянки  $h_k$ . Достоинства резания грунта вертикальными стружками: отсутствие гребней грунта на дне забоя; возможность создавать достаточно пологий угол откоса; меньшее сопротивление копанью.

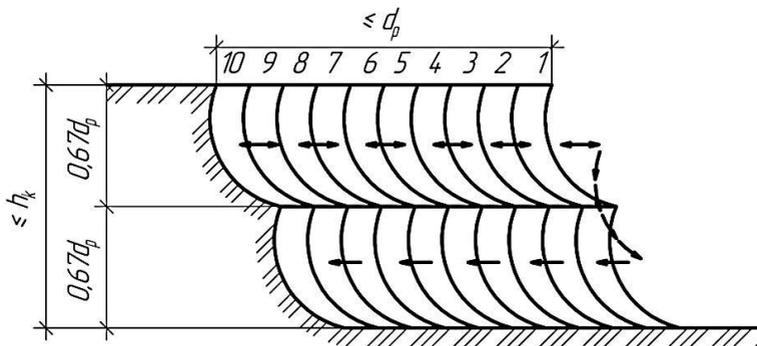


Рисунок 2.16 – Резание грунта вертикальными стружками роторным экскаватором

В песчаных и рыхлых глинистых грунтах резание осуществляют горизонтальными стружками, при этом экскаватор поочередно поворачивает по всей ширине забоя и опускает ротор на величину толщины стружки (рисунок 2.17).

После разработки грунта с одной стоянки на всю высоту забоя экскаватор снимает гребень грунта на дне забоя, поднимает стрелу в верхнее положение вперед на длину

$$l_{\pi} = 0,67d_p. \quad (2.30)$$

Недостатком рассматриваемого способа является то, что максимальная высота забоя должна быть

$$h_{\max} \leq h_k - 0,67d_p, \quad (2.31)$$

В песчаных и рыхлых глинистых грунтах наиболее эффективен комбинированный способ (рисунок 2.18), когда разработка ведется блоками: в верхнем – вертикальными, в нижнем – горизонтальными стружками. При этом забой может иметь высоту до  $h_k$ , а потери на передвижение экскаватора уменьшаются.

Транспортные средства устанавливают под погрузку сзади экскаватора. Для обеспечения возможности маневров транспорта на дне забоя ширину

первой проходки  $S_p$  принимают не менее 12 м. При последующих проходках экскаватор грузит грунт в транспорт, перемещающийся, как и в боковом забое прямой лопаты, по дну ранее образовавшейся проходки.

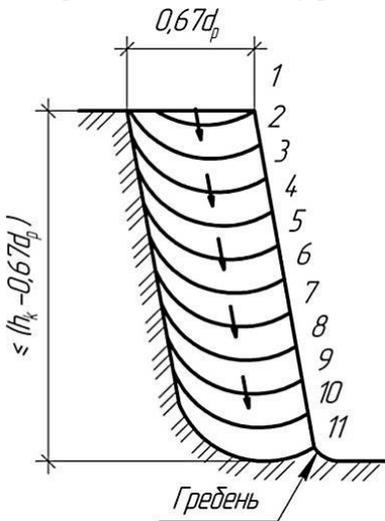


Рисунок 2.17 – Резание грунта горизонтальными стружками роторным экскаватором

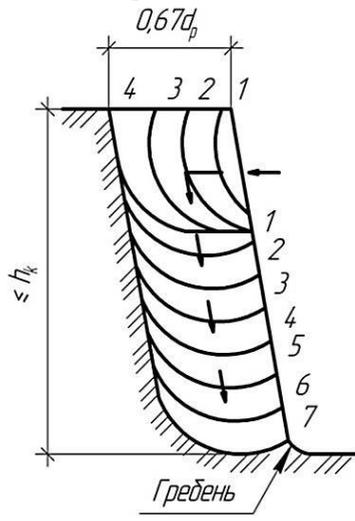


Рисунок 2.18 – Резание грунта комбинированным способом роторным экскаватором

Максимальный радиус копания  $r_{\max}$  соответствует горизонтальному положению стрелы ротора.

Расчетный радиус копания при любом положении стрелы

$$r_k = 0,96r_{\max}, \quad (2.32)$$

Наибольшую ширину забоя  $S_{\delta}^{\max}$  вычисляют по формуле

$$S_{\delta}^{\max} = 2\sqrt{r_k^2 - l_i^2}. \quad (2.33)$$

## 2.2 Составление технологической карты экскаваторных работ

Технологическая карта представляет собой проектный документ, определяющий технологию и организацию работ для выполнения определенного комплексного процесса работ, содержащий технологическую схему с конкретизацией способов работ, типов и производительности машин, организации труда. Технологические карты позволяют обеспечить строительство рациональными, заранее

продуманными решениями по организации и технологии производства работ, способствующими уменьшению трудоемкости, улучшению качества и снижению себестоимости работ.

Технологические схемы определяют технологию выполнения операций, необходимых для проведения работ. На основании технологических схем для каждого варианта механизации составляют конкретную технологическую карту в расчете на комплексную механизацию. Карты составляют на выполнение рабочих операций и процессов.

Технологические карты служат руководством для производителей работ, мастеров, бригадиров.

Различают типовые и рабочие технологические карты. Типовые разрабатывают на определенные виды комплексных процессов работ для каких-то средних условий, рабочие – на основе типовых карт и принятой технологии для конкретных условий строительной организации с учетом ее проектных материалов, парка машин, оборудования, дорожно-строительных материалов и природных условий. Они представляют собой типовые карты, привязанные к местным условиям.

Любая технологическая карта отражает наиболее прогрессивные способы производства работ и организации строительства. При разработке технологических карт исходят из простоты отдельных операций, их наименьшего числа и максимальной механизации, принимая при этом за основу решения, которые обеспечивали бы экономное, высококачественное и безопасное выполнение работ.

### **Технологические карты содержат следующие разделы.**

#### *1 Общие положения.*

В этом разделе указывают, на какой комплексный процесс работ и для каких условий разработана технологическая карта, какие работы предшествовали данному комплексному процессу, указывают основные процессы, для которых составлена технологическая карта, требования к применяемым материалам.

#### *2 Организация и технология производства работ.*

Этот раздел берется из схемы комплексной механизации, если такая составлялась. В необходимых случаях делается корректировка, если есть изменения в технологии работ, применяемых машинах или материалах.

Устанавливается технологическая последовательность процессов с расчетом объемов работ и потребных ресурсов. Расчет ведется на укрупненный измеритель (на один объект сосредоточенных земляных работ, на 1 км слоя дорожной одежды и т.п.).

Устанавливаются скорости потока и комплектуют состав отряда.

Зная потребность машин в машино-сменах на укрупненный измеритель, которая приводится в конце раздела 2, и скорость потока, подбирают состав машин в отряде и составляют схему работы машин с размещением по

захваткам. Например, скорость потока 0,3, км/смену, а потребность машин подсчитана на 1 км. Умножая потребность машино-смен на 0,3 находят требуемое количество машин в смену. Иногда скорость потока определяют по имеющимся ресурсам.

В этом же разделе даются указания по рациональному выполнению основных процессов работы: по каким схемам производить основные работы, где выгружать материал, как лучше укомплектовать звенья, бригады, как расставить машины, рабочих и т.д. Отряд комплектуют так, чтобы ведущие машины были загружены полностью, а вспомогательные – по возможности.

### *3 Материально-технические ресурсы.*

В этом разделе приводится потребность комплексной механизированной бригады в машинах, оборудовании и приспособлениях из расчета их оптимальной загрузки.

### *4 Требования к качеству работ. Охрана труда и окружающей среды.*

Этот раздел содержит требования к качеству работ, правила охраны труда для каждого процесса, а также окружающей среды. Могут делаться ссылки на соответствующие инструкции, технические правила, которыми следует пользоваться при производстве работ.

### *5 Калькуляция затрат труда и средств механизации на ведение работ.*

### *6 Схемы работы потока и размещения ресурсов по захваткам.*

Скорость потока – производительность отряда в смену – определяется исходя из наличия в отряде комплекта ведущих машин, и по этой же производительности подбирают остальные машины отряда, их коэффициент внутрисменной загрузки. Если какая-либо машина на захватке загружена не полностью, она может быть использована на другой захватке. Ее обозначают на захватках под одним номером, при этом загрузка машины на всех захватках в сумме должна быть не более 1.

Зная скорость потока, разбивают частный поток на захваты. При этом стремятся к сокращению их количества с целью уменьшения длины специализированного потока, однако при этом исходят из возможности обеспечения нормальной бесперебойной работы всех машин на захватке. На схеме указывают номера процессов и номера захваток. На одной захватке может быть несколько рабочих процессов. Например, рыхление грунта в резерве, его разработка и перемещение в насыпь для какого-то слоя, разравнивание грунта.

На плане вычерчивают применяемые машины, соблюдая масштаб, принятый для чертежа.

Кроме перечисленных разделов в технологическую карту можно включить раздел, связанный с особенностями ведения работ. Например, раздел, связанный с устройством земляного полотна в зимний период и в особых условиях.

Пример технологической карты на возведение земляного полотна из привозного грунта приведен в приложении Г.

### **2.3 Особенности технологии работ по разработке выемки экскаваторами [20]**

#### **2.3.1 Особенности технологии работ по разработке выемки экскаватором – прямой лопатой с перемещением грунта в насыпь автосамосвалами**

Перед началом работ растительный слой грунта с поверхности будущей выемки удаляют. Разработка грунта ведется отдельными проходками, количество которых, а также параметры забоев экскаватора определяются глубиной выемки и рабочими параметрами прямой лопаты. Проходки должны проектироваться до начала работы и организовываться таким образом, чтобы величина недобора грунта не превышала допустимую (таблица 2.3), а также обеспечивалась максимальная производительность экскаватора.

*Таблица 2.3 – Допускаемый недобор грунта при разработке выемок*

Рабочее оборудование	Допускаемый недобор грунта, см, при вместимости ковша экскаватора, м <sup>3</sup>		
	0,5–0,65	0,8–1,25	1,5–1,6
Прямая лопата	10	10	15

При этом решают вопросы о видах применяемых забоев (лобовом, боковом одноярусном или двухъярусном); количестве ярусов, последовательности, размерах и взаиморасположении проходок; необходимости и месте размещения пионерной траншеи.

Определяя рациональную ширину забоя, следует учитывать, что с ее уменьшением уменьшается и угол поворота стрелы экскаватора, но одновременно увеличивается количество проходок, т.е. переходов экскаватора из забоя в забой. Во всех случаях, когда это возможно, разработку выемки необходимо осуществлять боковым одноярусным забоем. Двухъярусный боковой забой применяется при разработке глубоких выемок в случаях необходимости перехода экскаватора на более низкий рабочий горизонт, а также в случаях использования пионерных траншей.

Работа в лобовых забоях связана с увеличением продолжительности цикла и уменьшением производительности экскаватора по сравнению с работой в боковых забоях. Поэтому работа лобовым забоем должна применяться только при крайней необходимости в коротких выемках, а также в выемках небольшой глубины, разрабатываемых за одну проходку. Такую разработку целесообразно выполнять широкими лобовыми забоями,

поскольку в них уменьшается угол поворота экскаватора\* и повышается его производительность, а также улучшается маневренность автосамосвалов.

Устройство пионерной траншеи может выполняться как бульдозерами или скреперами, так и экскаватором – прямой лопатой с погрузкой грунта в транспортные средства или в отвал. Ширина пионерной траншеи понизу должна быть минимальной, но не менее 4,0 м, а наибольшая глубина при рытье траншеи экскаватором определяется условиями выгрузки грунта из ковша.

Во время смены автосамосвалов или в промежутках между их подходами под погрузку экскаватор набирает в ковш грунт из наиболее отдаленных участков забоя, а также перекидывает грунт из этих участков к месту погрузки. При опускании ковша рукоять целесообразно выдвигать настолько, чтобы зубья или режущая кромка ковша находились на расстоянии не более 0,1–0,2 м от дна забоя. После этого начинают наполнение ковша путем срезания толстой стружки постоянной толщины, обеспечивающей наполнение ковша за одно черпание.

Если разрабатывают переувлажненный грунт, его лучше резать тонкой стружкой: этим предотвращается спрессовывание грунта в ковше, улучшаются его наполнение и разгрузка. Ковш следует своевременно очищать от налипшего грунта.

При работе с неполным вылетом рукояти создаются лучшие условия для резания грунта, сокращается продолжительность рабочего цикла. Резание тяжелых грунтов осуществляют на максимально укороченной рукояти. Поворот стрелы экскаватора на выгрузку грунта производят только после окончания резания и с максимально наполненным ковшом. Если высота забоя невелика, выгоднее наполнить ковш за два черпания, чем подавать на разгрузку ненаполненный ковш.

### **2.3.2 Особенности технологии работ по разработке выемки экскаватором – обратной лопатой с перемещением грунта в насыпь автосамосвалами**

Разработку грунта ведут одной проходкой на всю ширину выемки при прямолинейной или зигзагообразной схеме передвижения экскаватора. Экскаватор. Разработку грунта ведут одной проходкой на всю ширину выемки при прямолинейной или зигзагообразной схеме передвижения экскаватора. Экскаватор размещается наверху разрабатываемой площади и работает лобовым забоем, передвигаясь в пределах разрабатываемой им

---

\* Уменьшение угла поворота достигается разработкой правой и левой частей лобовой стенки забоя с поворотом в разные стороны. Автомобили также подают к экскаватору попеременно с правой и левой сторон.

полосы. Поярусная разработка выемки при этом виде рабочего оборудования, как правило, не практикуется, вследствие чего глубина выемок ограничена максимальной глубиной копания конкретного экскаватора (4,5–8,0 м). Автосамосвалы, в которые грузят грунт, устанавливают на дне забоя. Это дает возможность экскаватору с одной рабочей стоянки копать грунт на полосе шириной, практически равной удвоенному наибольшему радиусу резания\*, а также работать с небольшими (до 10–15°) углами поворота. Целесообразно применять продольно- или поперечно-челночный способ взаимодействия экскаватора и автосамосвалов. Таким образом, достигается повышение производительности экскаватора\*\*. Резание грунта целесообразно начинать со стороны откосов по направлению к середине проходки, так как при этом уменьшается сопротивление копанию массы грунта.

### **2.3.3 Особенности технологии работ по разработке выемки с отвалом грунта в кавальер экскаватором – драглайном**

Перед началом работы поверхность земли на полосе перемещения экскаватора необходимо выровнять бульдозером.

Во избежание самопроизвольного перемещения экскаватора во время работы его закрепляют специальными инвентарными упорами. Недопустимо подкладывать под гусеницы или катки гусениц бревна, камни и другие подобные предметы для предотвращения смещения экскаваторов.

Предварительно выполняют разбивку выемки на проходки, которая зависит от параметров рабочего оборудования экскаваторов и проектных размеров выемки. Разработка грунта может вестись лобовыми (торцевыми) или боковыми проходками. В общем случае преимуществами боковых проходок являются большая ширина разрабатываемой полосы грунта, небольшие средние углы поворота машины и значительно большая глубина копания. Однако при разработке выемок боковой проходкой уменьшается объем бульдозерных работ, связанных с дополнительным перемещением грунта. Поэтому перемещение грунта из выемки глубиной менее наибольшей глубины копания драглайна в боковом забое  $h_{кб}$  в односторонний кавальер производят двумя проходками. Первой (лобовой) проходкой разрабатывают часть выемки со стороны, противоположной кавальеру, с отсыпкой грунта в пределах неразработанной части выемки.

---

\* При перемещении грунта в отвал или в транспортные средства, установленные на одном уровне с экскаватором, ширину разрабатываемого лобового забоя уменьшают вследствие необходимости размещения отвала или транспортных средств в пределах досягаемости ковша.

\*\* В случаях выгрузки грунта из ковша вне пределов забоя продолжительность рабочего цикла обратной лопаты получается на 10–15 % больше, чем у экскаватора – прямой лопаты.

Второй (боковой) проходкой экскаватор движется вдоль бровки выемки, укладывая грунт в кавальер. На каждой стоянке драглайн вначале копает грунт вдоль откосов, обеспечивая их проектное положение, а затем – ближе к оси выемки. В целях большей экономичности работ дополнительное перемещение грунта из промежуточного вала в кавальер целесообразно выполнять бульдозером.

Для разработки выемки глубиной от  $h_{кб}$  до наибольшей глубины копания драглайна в лобовом забое в односторонний кавальер, а также для разработки выемок в двусторонние кавальеры используют лобовые проходки такой ширины, чтобы средняя величина угла поворота стрелы драглайна не превышала  $90^\circ$ . Вынутый грунт перемещают от бровки откоса выемки в кавальер бульдозером. Если кавальеры двусторонние, а ширина выемки по верху не превышает  $1,86$  наибольшего радиуса копания экскаватора, экскаватор может двигаться по зигзагообразной схеме (рисунок 2.19). В остальных случаях разработки выемок в кавальеры движение драглайна по зигзагу менее удобно и лобовые проходки устраивают параллельно оси пути.

Набор грунта ковшем драглайна целесообразно производить на возможно более коротком расстоянии при наиболее толстой стружке. Следует максимально совмещать подъем и разгрузку ковша с поворотом стрелы на выгрузку, а также поворот стрелы и опускание ковша в забой. Для предотвращения высыпания грунта ковш необходимо перемещать к месту выгрузки с несколько поднятой кверху режущей кромкой. Резание грунта стружками максимальной толщины достигается:

- регулировкой на месте работы подвески ковша к подъемному и тяговому канатам, длины цепей и опрокидного (разгрузочного) каната для получения наиболее выгодной величины угла врезания режущего органа ковша;
- полным использованием мощности двигателя во время резания грунта ковшом;
- передвижками экскаватора на расстояние не более  $0,2$  длины стрелы.

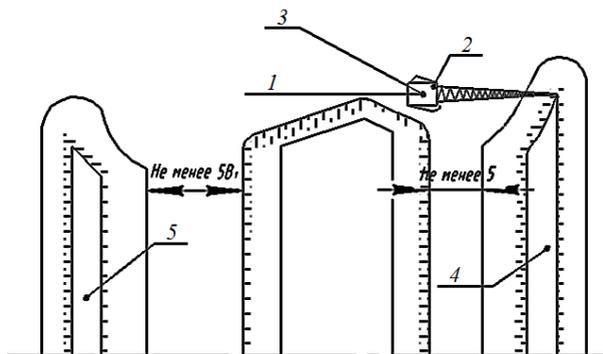


Рисунок 2.19 – Схема разработки выемки драглайном с применением уширенных проходок:

1–3 места стоянок экскаватора; 4 – кавальер (работа бульдозера условно не показана);  
5 – кавальер со стороны будущего второго пути

Наиболее выгодные значения угла врезания составляют 40–50°. На легких грунтах и при мелких зубьях угол увеличивают, а на тяжелых грунтах и при глубоких забоях, наоборот, уменьшают.

### 2.3.4 Особенности технологии работ по разработке выемки экскаватором – драглайном с перемещением грунта в насыпь автосамосвалами

Перед началом работ выполняют мероприятия по подготовке поверхности площадки и предотвращению самопроизвольного смещения экскаватора, указанные в п. 2.3.3. Растительный слой грунта удаляют.

Разработка грунта ведется отдельными проходками, количество которых, а также параметры забоев драглайна определяются глубиной выемки и рабочими параметрами экскаватора. Проходки должны проектироваться до начала работы и организовываться таким образом, чтобы обеспечивалась максимальная производительность экскаватора, а величина недобора грунта не превышала допустимую (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Допускаемый недобор грунта при разработке выемок

Рабочее оборудование	Допускаемый недобор грунта, см, при вместимости ковша экскаватора, м <sup>3</sup>		
	0,5–0,65	0,8–1,25	1,5–1,6
Драглайн	20	25	30

При этом необходимо решать вопросы о местах установки транспорта в забое, последовательности проходки и путях перемещения драглайна.

Определяя рациональные размеры (высоту и ширину) забоя, следует учитывать, что с уменьшением ширины забоя уменьшается и угол поворота стрелы экскаватора, но увеличивается количество проходок, т.е. переходов драглайна из забоя в забой. Целесообразно разработку грунта драглайном с погрузкой в автосамосвалы вести лобовыми (торцевыми) проходками с небольшими углами поворота (до 90°). Набор грунта ковшем драглайна следует выполнять в соответствии с указаниями, описанными в п. 2.3.3. Разработка выемки челночным способом, т.е. с погрузкой грунта в автосамосвалы, устанавливаемые на дне забоя, дает возможность уменьшить угол поворота стрелы до 10–15° и повысить производительность экскаватора. Наиболее рационально применять челночный способ работы при глубине забоев 1,0–3,5 м. Количество ковшей грунта, помещаемого в кузов автосамосвала, приведено в таблице 2.5. Сокращение количества циклов ускоряет загрузку автомобиля, но может привести к поломке его рессор и кузова при выгрузке в него тяжелого груза с высоты 1–2 м.

Машинист экскаватора обязан обеспечить отсутствие в грунте, выгружаемом из ковша в транспортные средства, камней крупнее 0,3 м, пней и прочих древесных остатков, включений торфа и других грунтов, не пригодных для укладки в насыпь. Машинист обязан также обеспечить загрузку транспортных средств разрабатываемым грунтом в соответствии с установленной грузоподъемностью. Отклонение от ее величины должно быть не более минус 5 % – плюс 10 %.

**Таблица 2.5 – Количество циклов разгрузки ковша драглайна в кузов автосамосвала**

Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Грузоподъемность автосамосвала, т		
	5	7	10
0,8	5	6	–
1,2	–	4	6
1,5	–	–	5

### **2.3.5 Особенности технологии работ по разработке выемки роторно-стреловым экскаватором с перемещением грунта в насыпь автосамосвалами**

Разработка грунта ведется отдельными проходками, глубина, ширина и количество которых определяются рабочими параметрами экскаватора и рабочими отметками выемки. Проходки должны проектироваться и организовываться таким образом, чтобы величина недобора грунта не превышала допустимую, а также обеспечивалась максимальная производительность экскаватора. При этом глубина проходок должна составлять не менее 2/3 диаметра ротора. Как правило, роторные

экскаваторы работают в лобовом (торцевом) забое, где стрела ротора может поворачиваться на  $90^\circ$  в обе стороны от продольной оси экскаватора.

Наиболее распространены два способа разработки забоя, различающиеся направлениями и последовательностью перемещения ротора – горизонтальными и вертикальными многорядными стружками (см. рисунки 2.16, 2.17) Применяется также комбинированный способ, представляющий собой сочетание этих способов (см. рисунок 2.18). Каждое резание горизонтальной или вертикальной стружкой требует изменения наклона стрелы или поступательного перемещения экскаватора.

Схема работы со срезанием горизонтальных стружек предусматривает, что ротор снимает верхнюю стружку по всей ширине забоя, а затем опускается вниз на величину, равную максимальной толщине стружки, и цикл работы повторяется. Завершив отработку забоя на всю его высоту и подняв стрелу в верхнее положение, экскаватор передвигается в сторону забоя на толщину разрабатываемого блока грунта, оптимальное значение которой равно  $2/3$  диаметра ротора. Перед передвижкой экскаватор снимает гребешок грунта на дне забоя, а также удаляет валик грунта, образуемый перед гусеницами.

При разработке забоя вертикальными многорядными стружками передвижки экскаватора в сторону забоя выполняются на величину, равную максимальной толщине стружки. После разработки грунта на толщину блока верхнего подступа экскаватор отводят назад, стрелу ротора опускают вниз на величину  $H$  и начинают резание грунта в блоке следующего, т.е. нижележащего подступа (см. рисунок 2.16). Оптимальное значение  $H$  равно  $2/3$  диаметра ротора. Во время отхода экскаватора назад резание грунта не производится. Срезание вертикальных стружек позволяет получать ровное, без гребешков, дно забоя, которое не требует специальной зачистки. В отличие от схемы с применением горизонтальных стружек, рассматриваемый способ работы позволяет создавать достаточно пологий угол лобового откоса забоя. Сопrotивление копанью вертикальными стружками оказывается меньше, чем горизонтальными. Кроме того, при одинаковом начальном угле наклона роторной стрелы высота уступа, разрабатываемого вертикальными стружками, может быть больше на величину  $H$ , чем при работе горизонтальными стружками.

Комбинированный способ (см. рисунок 2.18) позволяет обрабатывать забой такой же высоты, как и при схеме с вертикальными стружками, а также сократить потери времени на передвижки экскаватора и исключить образование гребешков на дне забоя.

Очевидно, что резание вертикальными стружками целесообразно в плотных устойчивых грунтах, а горизонтальными стружками или комбинированным способом – в неустойчивых грунтах и при необходимости уменьшения комковатости.

При вводе экскаватора в забой заглубляют его ротор в грунт на 0,5 м ниже уровня стоянки машины с постепенным доведением высоты забоя до нормальной величины. Для повышения эффективности использования экскаватора целесообразно заранее подготавливать места ввода его в забой с помощью бульдозера. Ширина первой проходки должна  $2/3$  диаметра ротора составлять не менее 12 м с целью установки двух автосамосвалов или самоходных землевозов рядом друг с другом и обеспечивая возможности их маневров на дне забоя при установке под загрузку. Ширина последующих проходок принимается в зависимости от ширины разрабатываемой выемки.

Уменьшение недобора грунта на откосах выемки достигается снижением высоты проходок, установкой экскаватора ближе к верхним бровкам откосов выемок, а также путем разработки откосных зон отдельными уступами. Очевидно, что с увеличением количества уступов сокращается объем недобора грунта на откосах выемки. При разработке выемки с образованием уступов на откосах сначала снимают грунт горизонтальными или вертикальными стружками по всей ширине забоя, ограничиваемой плоскостью проектируемого откоса. Затем угол поворота стрелы ротора от продольной оси экскаватора  $\alpha$  уменьшают до величины  $\alpha_1$  и разрабатывают грунт до следующей встречи ротора с плоскостью откоса либо до дна забоя. После передвижки экскаватора на новую стоянку цикл разработки грунта повторяется.

Автосамосвалы (землевозы) подают под погрузку позади экскаватора на одном уровне с ним. Их совместная работа организуется так, чтобы к моменту окончания загрузки одного транспортного средства рядом с ним уже стояло второе. Тогда непрерывно работающий экскаватор поворачивает стрелу отвального транспортера и устанавливает ее над кузовом второй машины.

## **2.4 Разбивка экскаваторных проходок**

### **2.4.1 Разбивка проходок экскаватора – прямая лопата**

Высоту ярусов принимают равной  $h_{я}$ , расстояние между подошвой нижнего яруса и уровнем нулевых отметок должно соответствовать нормативной величине недобора грунта и высоте сливной призмы (если последнюю устраивают).

На основании разбивки профиля на поперечниках выемок отмечают уровни подошвы ярусов.

После этого составляют варианты разбивки на проходки поперечника, характеризующегося наибольшей рабочей отметкой (рисунок 2.20). В результате находят оптимальный вариант, обеспечивающий наименьшее количество проходок (ввод в забой и вывод из забоя) экскаватора при

площади недобора грунта не более 10 %. Для сокращения недобора следует размещать проходки максимальной высоты в центре поперечника, а минимальной – у краев.

Разработку карьеров наиболее эффективно вести проходками высотой  $(0,8 - 1,2)H_{нв}$ .

Наименьшая продолжительность цикла прямой лопаты имеет место при работе боковой одноярусной проходкой. Двухъярусную боковую проходку обычно используют для углубления забоя, например, в сочетании с пионерной траншеей в начале разработки выемки (см. рисунок 2.20).

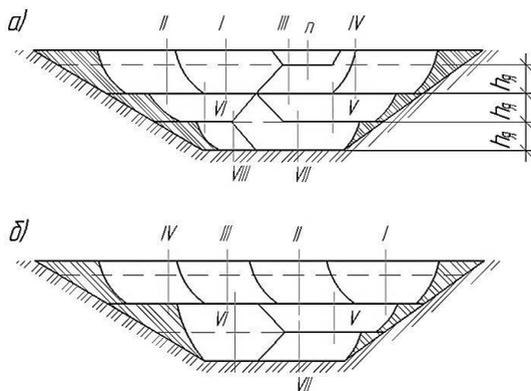


Рисунок 2.20 – Схемы разбивки поперечника на проходки прямой лопаты; римскими цифрами обозначены номера проходок; п – пионерная траншея

Пионерные траншеи позволяют избежать устройства в верхнем ярусе проходок с высотой менее  $H_{нв}/3$ , недостаточной для наполнения ковша на 50 % за одно черпание. Выгоднее произвести два черпания, чем подавать на разгрузку ненаполненный ковш.

Ширина пионерных траншей должна быть достаточной для движения по ним принятых транспортных средств (не менее 4 м), крутизна откосов – 1:1. Целесообразно разрабатывать траншеи бульдозерами или скреперами, складывая разработанный грунт рядом с траншеей.

Лобовую проходку применяют только в случаях крайней необходимости для первого прохода экскаватора по короткой выемке. Для повышения производительности машин ширину лобовой проходки следует принимать наибольшей.

Разбивку поперечника на проходки осуществляют графическим способом, используя шаблоны одноярусного и двухъярусного боковых забоев, изготавливаемых из бумаги в том же масштабе, что и вычерченный поперечник (рисунок 2.21). На шаблонах отмечают максимальные и минимальные ширины забоев. Соответствующие половины шаблонов

можно использовать и для разбивки лобовой проходки. Варианты разбивки поперечника получают установкой шаблона на линии подошвы ярусов, начиная с верхних ярусов; при этом получаемая высота проходки не превышает высоту шаблона (см. рисунок 2.21).

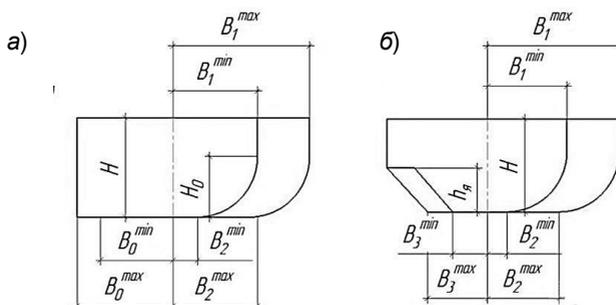


Рисунок 2.21 – Шаблоны боковых забоев прямой лопаты:  
а – одноярусного; б – двухъярусного

Экскаваторные проходки в разных ярусах, как правило, располагают параллельно проектной линии. Поэтому схемы разбивки остальных поперечников строят подобно оптимальной схеме, полученной для самого высокого поперечника. Отличия схем на остальных поперечниках могут быть только в связи с отсутствием верхних проходок на поперечниках с меньшими рабочими отметками, а при недренирующих грунтах – также в связи с возможным несоответствием угла наклона ярусов уклону проектной линии.

Если крутизна откосов выемки не позволяет устраивать дороги с нормативным уклоном для передвижения экскаватора с транспортными средствами, бульдозерами или скреперами, устраивают въездные траншеи (см. рисунок 2.21). Этими же машинами следует разрабатывать грунт на тех участках продольного профиля, где отметки выемок составляют менее  $H_{пв}/3$ .

#### 2.4.2 Разбивка проходок экскаватора – обратная лопата

Котлован разбивается на проходки, как и при работе экскаватором с прямой лопатой. Ширина проходок должна обеспечивать наименьшие затраты времени на рабочий цикл ковша.

Если надо расширить проходку, чтобы освободить фронт для других работ, то грунт разрабатывают уширенными забоями при зигзагообразном перемещении экскаватора.

Рытьё котлованов шириной 12–14 м производят одной лобовой проходкой с зигзагообразными движениями экскаватора, а при большей ширине – параллельными проходками.

При разработке грунта навывет (с укладкой грунта непосредственно в земляное сооружение или в отвал) величина углов поворота не должна превышать в среднем  $90^\circ$ , а при погрузке в транспортные средства –  $70^\circ$ .

Как в лобовом, так и в боковом забое ось рабочего передвижения экскаватора с целью уменьшения угла поворота следует смещать в сторону транспортных средств.

### 2.4.3 Разбивка проходок экскаватора – драглайн

Работа драглайна с транспортными средствами осуществляется торцовыми проходками. При условиях, указанных в п. 2.1.3, транспорт перемещается по дну проходок, а в остальных случаях он подается под погрузку в одном уровне с экскаватором. Поскольку ширина выемки переменна по длине линии, количество проходок в разных местах земляного полотна может быть неодинаковым.

Перемещение грунта из выемки с глубиной менее  $H_6$  (рисунок 2.22) в односторонний кавальер производят двумя проходками. Во время первой (торцовой) проходки разрабатывают часть выемки со стороны, противоположной кавальеру, с отсыпкой грунта в пределах неразработанной части выемки. Во время второй (боковой) проходки экскаватор движется вдоль бровки выемки, укладывая грунт в кавальер. На каждой стоянке драглайн вначале копает грунт вдоль откосов, обеспечивая их проектное положение, а затем – ближе к оси выемки.

Для разработки выемки глубиной от  $H_6$  до  $H_T$  в односторонний кавальер, а также для разработки выемок в двусторонние кавальеры используют торцовые проходки. При этом вынутый грунт перемещает от бровки откоса выемки в кавальер бульдозером. Если кавальеры двусторонние, а ширина выемки поверху не превышает  $2R_k$  [см. формулу (2.21)], экскаватор может двигаться по зигзагообразной схеме. В остальных случаях разработки выемок в кавальеры движение драглайна по зигзагу менее удобно и торцовые проходки устраивают параллельно оси пути.

Перенесение грунта в насыпь из одностороннего резерва осуществляет аналогично разработке выемки в односторонний кавальер. При благоприятных местных условиях глубину резерва целесообразно принимать близкой к максимально возможной, равной  $H_6$  или  $H_T$ , – в зависимости от вида проходок в резерве. Эскавация грунта часто осуществляется одной торцовой проходкой; на участках со значительными рабочими отметками можно дополнительно устраивать боковую проходку. Оси проходов имеет криволинейное очертание, подобное очертанию бровки насыпи (см. рисунок 2.22).

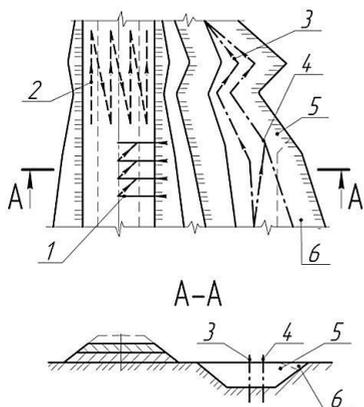
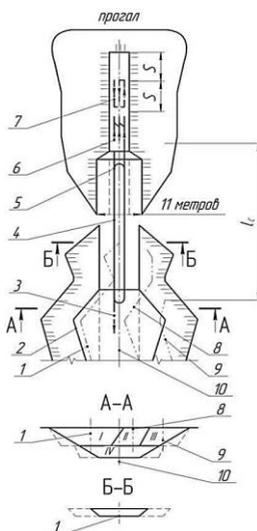


Рисунок 2.22 – Схема возведения насыпи из одностороннего резерва экскаватором драглайном

1, 2 – пути движения соответственно бульдозера и трамбующей машины; 3, 4 – пути движения драглайна соответственно при торцевой и боковой проходках; 5, 6 – торцевая и боковая проходки соответственно

Рисунок 2.23 – Схема разработки выемки драглайном с комплектующими машинами

Грунт отсыпается в насыпь с прогалом:  
1, 8, 9, 10 – оси движения экскаватора соответственно при I, II, III (в верхнем ярусе) и IV (в нижнем ярусе) проходках; 2 – контур подошвы верхнего яруса разработки; 3 – место загрузки транспорта при челночном методе экскавации в нижнем ярусе; 4, 6, 7 – пути движения соответственно транспорта, бульдозера и трамбовочной машины; 5 – место разворота транспорта перед разгрузкой;  $l_c$  – средняя дальность транспортирования грунта



Необходимо, чтобы схемы разбивки поперечников на различных пикетах были взаимосвязаны, поскольку оси проходок в плане не должны пересекаться.

Для экскавации грунта драглайнами навывет целесообразно проектировать на небольшом фронте совместную работу двух экскаваторов с одним бульдозером и, если грунт необходимо уплотнять, с одной грунтоуплотняющей машиной. Когда 2–4 комплекта экскаваторов с транспортными средствами работают на участке линии длиной до 5 км, содержание дорог обеспечивается одним автогрейдером.

#### 2.4.4 Разбивка проходок роторного экскаватора

Основные принципы и возможные схемы разбивки продольного и поперечного профилей выемок на ярусы аналогичны указанным выше для экскаватора – прямая лопата. Подошва нижнего яруса в выемках устанавливается на уровне, где ее ширина составляет 12 м. Высоту ярусов, кроме верхнего, принимают равной  $h_k$ . Разработку грунта, оставшегося ниже подошвы нижнего яруса, а также на участках выемки, где высота верхнего яруса менее  $0,5d_p$ , целесообразно выполнять скреперами.

Разбивку поперечника на проходки осуществляют по шаблону забоя (рисунок 2.24).

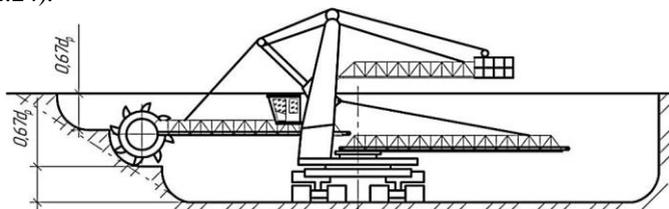


Рисунок 2.24 – Разбивка поперечника на проходки

Все проходки, как правило, располагают параллельно оси выемки. При нахождении оптимального варианта разбивки поперечников рекомендуется предусматривать уступную разработку откосной части выемок, позволяющих сократить недобор грунта на откосах. Для этого угол поворота стрелы ротора  $\varphi_p$ , измеряемый от плоскости проектного откоса выемки до бровки противоположного откоса забоя, уменьшают по мере приближения ротора ко дну забоя (рисунок 2.25).

Наименьшее допустимое расстояние от оси экскаватора до бровки откоса выемки

$$B_2^{\min} = \Gamma - 1,7\Pi + 2, \quad (2.34)$$

где  $\Gamma$  – радиус, описываемый хвостовой частью платформы, м;

$\Pi$  – просвет под поворотной платформой, м

В случае необходимости устройства въездных траншей они разрабатываются бульдозером, скрепером или путем опускания ротора экскаватора ниже его стоянки.

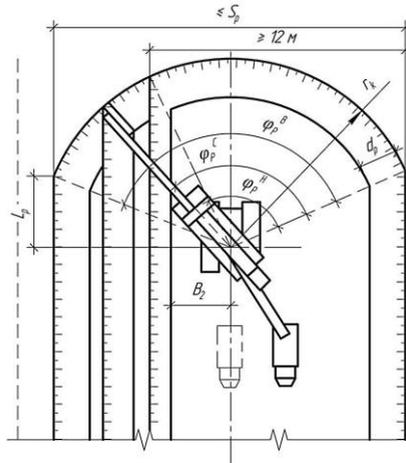


Рисунок 2.25 – Схема разработки выемки роторным экскаватором

## 2.5 Определение расхода топлива машинами для земляных работ

### 2.5.1 Методика определения расхода топлива дорожно-строительными машинами

Расход топлива определяют опытным путем, основанным на конкретных замерах непосредственно на образце машины в реальных условиях эксплуатации, или расчетом, на основе анализа статистических данных о фактическом расходе топлива за ряд предшествующих лет с учетом факторов, влияющих на его изменение.

В общем случае уточненное значение индивидуальной нормы расхода топлива  $G_T$  (л/маш.ч) определяют по формуле

$$G_T = \frac{g_e N_{э.ном} K_{Т.з} K_B K_M K_{ТМ} K_{и} \left( 1 + \sum_{i=1}^n D_i \right)}{1000 \rho_T}, \quad (2.35)$$

где  $g_e$  – удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч);

$N_{э.ном}$  – номинальная мощность двигателя, кВт;

$K_{Т.з}$  – коэффициент, учитывающий расход топлива на запуск, прогревание и ежемесячное техническое обслуживание машин, для всех машин  $K_{Т.з}=1,03$ ;

$K_B$  – коэффициент использования двигателя по времени (таблица 2.6);

$K_M$  – коэффициент использования двигателя по мощности (см. таблица 2.6);

$K_{ТМ}$  – коэффициент, учитывающий изменение  $g_e$  в зависимости от  $K_M$  (таблица 2.7);

$K_{и}$  – коэффициент, учитывающий износ двигателя (таблица 2.8);

$\rho_T$  – плотность топлива ( $\rho_T = 0,825$  кг/л для дизельного топлива,  $\rho_T = 0,74$  кг/л для бензина);

$n$  – число поправочных коэффициентов, учитывающих повышение норм расхода топлива в зависимости от конкретных условий эксплуатации;  
 $D_i$  – поправочный коэффициент, учитывающий повышение норм расхода топлива.

Для транспортных работ дорожно-строительных машин, созданных на базе автомобилей, при перебазировке технологических машин расход топлива определяется в л/100 км. Тогда формула (2.35) примет вид

$$G_T = 0,1 \frac{g_e N_{э,ном} K_{пз} K_B K_M K_{тм} K_{и} \left( 1 + \sum_{i=1}^n D_i \right)}{v_a \rho_T}, \quad (2.36)$$

где  $K_B$  – коэффициент использования двигателя базового шасси или тягача по времени; при скорости 40 км/ч  $K_B = 0,6$ , при скорости 60–80 км/ч  $K_B = 0,8$ ;

$K_M$  – коэффициент использования двигателей по мощности, при скорости 40 км/ч  $K_M = 0,5$ , при скорости 60 км/ч  $K_M = 0,60 \dots 0,63$ , при скорости 80 км/ч для автомобилей высокой проходимости  $K_M = 0,95 \dots 1,0$ , для прочих –  $K_M = 0,8 \dots 0,85$ ;

$v_a$  – скорость движения автомобиля, км/ч, для поливомоечных машин, автоцистерн для транспортирования жидкостей  $v_a = 35 \dots 40$  км/ч, для прочих –  $v_a = 60 \dots 80$  км/ч.

Таблица 2.6 – Значения коэффициентов  $K_B$  и  $K_M$

Название машины	Коэффициент	
	$K_B$	$K_M$
<i>Землеройные машины</i>		
Экскаваторы одноковшовые: 1–2-й размерной группы	0,86	0,60
3–4-й размерной группы	0,90	0,50
Экскаваторы траншейные роторные и цепные	0,88	0,50
Экскаваторы роторные с ковшом вместимостью: до 50 л	0,88	0,50
до 100 л	0,94	0,50
Экскаваторы карьерные многоковшовые поперечного копания	0,88	0,50
Экскаваторы-планировщики	0,90	0,40
<i>Землеройно-транспортные машины</i>		
Бульдозеры	0,86	0,40
Автогрейдеры	0,90	0,50

Таблица 2.7 – Значение коэффициента  $K_{тм}$  при значениях коэффициента  $K_M$

Двигатель	Коэффициент $K_{тм}$					
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Тракторный дизельный	1,28	1,14	1,08	1,05	1,02	0,95
Автомобильный дизельный	1,2	1,09	1,05	1,02	1,01	0,98
Карбюраторный	1,08	1,04	1,03	1,02	1,01	1,0
Примечание – При значениях $K_M$ , не указанных в таблице 2.7, $K_{тм}$ определяется интерполяцией.						

Таблица 2.8 – Значение коэффициента  $K_n$  при использовании ресурса двигателя

Двигатель	Ресурс двигателя, %		
	0–30	30–80	80–100
Дизельный	1,0	1,05	1,1
Карбюраторный	1,0	1,05	1,2

При транспортировке машин на прицепах нормы расхода топлива тягачей увеличиваются на 2,0 л для автомобилей с карбюраторными двигателями и на 1,3 л – с дизельными двигателями на каждую тонну фактической массы, прицепа (полуприцепа).

Нормой расхода топливно-смазочных материалов (ТСМ) называется плановый показатель их расхода на единицу объёма выполненных работ или за один час работы машины. Нормы расхода ТСМ разделяют на индивидуальные и групповые. Индивидуальная норма устанавливается применительно к конкретным условиям работы машин. Она является средней величиной индивидуальных норм.

В строительной отрасли каждое министерство (ведомство) утверждает свои расходы ТСМ. В таблице 2.9 приведены индивидуальные нормы расхода дизельного топлива на работу бульдозеров, а в приложении Д – на другую дорожную технику.

Таблица 2.9 – Норма расхода дизельного топлива для работы в условиях Республики Беларусь

Модель машины	Двигатель	Норма расхода топлива, кг/ч
<i>Бульдозеры</i>		
Caterpillar D5K XL: планировка грунтов I-II категории планировка грунтов II-III категории	CAT 3046T	11,6 13,3
Caterpillar D5N XL; планировка грунтов I-II категории	Caterpillar 3126B	15,8
ДЗ-170 (шасси Т-170), перемещение грунтов I-III категории	Д-160	13,0
ДЗ-171	Д-160	11,9
ДЗ-171.1	Д-160.01	12,4
ДЗ-171.1-03 (шасси Т-170.40)	Д-160	12,1
ДЗ-94, ДЗ-94С, ДЗ-59 (Д-701)	8ДВТ-300	25,4
ДТ-75ДРС2; планировка грунта I-II категории	А-41СИ	10,0
ДЗ-17, ДЗ-18, ДЗ-19, ДЗ-53, ДЗ-54	Д-108	6,9
ДЗ-101, ДЗ-104,	А-01И	8,7
ДЗ-27, ДЗ-109, ДЗ-110, ДЗ-116, ДЗ-117	Д-130	10,9
ДЗ-24, ДЗ-25, ДЗ-35	Д-180	10,5
ДЗ-34, ДЗ-118	В-30Б	19,6
ДЗ-59, ДЗ-6, ДЗ-94	8ДВ-330	20,6

## 2.6 Определение производительности экскаваторов

### 2.6.1 Определение производительности одноковшовых экскаваторов

Теоретическую производительность определяют по формуле

$$P_{\text{теор}} = qn_{\text{ц}}, \quad (2.37)$$

где  $n_{\text{ц}}$  – теоретическое число циклов в час,

$$n_{\text{ц}} = \frac{3600}{t_{\text{ц}}}; \quad (2.38)$$

$t_{\text{ц}}$  – продолжительность рабочего цикла экскаватора, с.

Техническая производительность определяется как средняя производительность экскаватора за 1 ч непрерывной работы с конкретными грунтами

$$P_{\text{тех}} = P_{\text{теор}} \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{р}}}, \quad (2.39)$$

где  $k_{\text{н}}$  – коэффициент наполнения ковша грунтом;

$k_{\text{р}}$  – коэффициент разрыхления грунта.

Эксплуатационную производительность определяют с учетом продуктивной работы экскаватора в течение одной смены на конкретном участке

$$\dot{V} = 8\dot{I}_{\text{до}} k_{\text{в}} \lambda, \quad (2.40)$$

где  $k_{\text{в}}$  – коэффициент использования экскаватора по времени (таблицы 2.10, 2.11);

$\lambda$  – технологический коэффициент, зависящий от конкретных производственных условий на участке работ (таблица 2.12).

Таблица 2.10 – Коэффициент использования экскаваторов по времени

Наименование работы и вид оборудования	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Разработка грунта с погрузкой	
		в транспортные средства	навымет
Разработка грунта при устройстве выемок и насыпей экскаваторами, оборудованными: – прямой лопатой – обратной лопатой	0,8; 1,6	0,72	0,83
	0,4–0,65	0,62	0,75
	1,25; 1,6	0,67	0,78
Разработка грунта экскаваторами, оборудованными обратной лопатой: – в котлованах	0,25–1,0	0,60	0,73
	1,25; 1,6	0,63	0,75

– в траншеях	0,25–1,0	0,65	0,8
	1,25; 1,6	0,7	0,82

Таблица 2.11 – Коэффициент использования экскаваторов по времени

Наименование работы и вид оборудования	Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Группа грунта					
		I	II	III	IV	V	VI
Разработка грунта экскаваторами-драглайн с погрузкой в транспортные средства: – при устройстве выемок и насыпей – в котлованах и траншеях	0,35–1	0,66	0,68	0,70	0,63	0,67	0,65
	1,5–3,0	0,68	0,71	0,72	0,75	0,7	0,68
	0,25–1,0	0,65	0,66	0,68	0,7	0,64	0,63
Разработка грунта экскаваторами-драглайн навывет: – при устройстве выемок и насыпей – в котлованах и траншеях	0,35–1,0	0,78	0,78	0,78	0,79	0,75	0,74
	1,5–3,0	0,80	0,80	0,80	0,81	0,78	0,76
	0,25–1,0	0,8	0,8	0,8	0,81	0,75	0,74

Таблица 2.12 – Значения технологического коэффициента  $\lambda$

Производственные условия на участке	Значения коэффициента $\lambda$
Наращивание стенок экскаваторного ковша	1,1–1,2
Эксплуатация липких глинистых грунтов	0,85–0,9
Работа драглайна челночным способом	1,3–1,4
Отсыпка насыпи драглайном при толщине отсыпаемого слоя $h_p < 1$ м	$\lambda = 0,2h_p + 0,8$
Использование гидравлических экскаваторов	1,2–1,3
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 В случае наличия комплекса условий результирующее значение <math>\lambda</math> принимается равным произведению значений, соответствующих каждому из условий.</p> <p>2 При производственных условиях, не охватываемых настоящей таблицей, следует принимать <math>\lambda = 1</math>.</p>	

Эксплуатационную производительность однокоршковых экскаваторов, м<sup>3</sup>/ч, определяют по формуле

$$\dot{V}_{\dot{y}} = \frac{480qn_1k_1k_a\lambda}{k_b}, \quad (2.41)$$

где  $n_1$  – количество экскаваций грунта в минуту (см. формулу 2.15);

$k_n$  – коэффициент наполнения ковша грунтом;

$k_b$  – коэффициент использования рабочего времени.

## 2.6.2 Определение производительности многоковшовых экскаваторов

Производительность многоковшовых экскаваторов зависит от условий производства конкретного вида работ.

Техническая производительность траншейных экскаваторов

$$\Pi_{\text{тех}} = Av_p, \quad (2.42)$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения траншеи,  $\text{м}^2$ ;

$v_p$  – максимальная рабочая скорость передвижения экскаватора в конкретных грунтовых условиях при заданной площади траншеи,  $\text{м/ч}$ .

Тогда эксплуатационная производительность

$$\Pi_{\text{э}} = 8Av_p k_b, \quad (2.43)$$

Эксплуатационная производительность роторно-стрелового экскаватора

$$\Pi_{\text{э}} = \frac{480qn_0zk_nk_b}{k_p}, \quad (2.44)$$

где  $n_0$  – частота вращения ротора,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$z$  – число ковшей на роторе, шт.

При расчете эксплуатационной производительности многоковшовых экскаваторов коэффициент  $\lambda$  не учитывают.

### 2.6.3 Основные направления повышения производительности экскаваторов

В настоящее время основными направлениями повышения производительности одноковшовых экскаваторов являются:

- научное обоснование параметров всех экскаваторов с учетом требований строительной техники;
- унификация линейных параметров рабочего оборудования гидравлических экскаваторов;
- разработка рабочего оборудования прямая лопата гидравлических экскаваторов, обеспечивающего разработку забоев нормальной высоты;
- дальнейшее улучшение условий работы машиниста и автоматизация выполнения операций цикла с целью уменьшения утомляемости машиниста;
- разработка оборудования обратная лопата механических экскаваторов, обеспечивающего нормальные условия погрузки самосвалов грузоподъемностью до 15 т;
- разработка ковшей и механизмов поворота, применение которых снизит просыпание грунта из ковша;

- разработка методов защиты ковшей экскаваторов от налипания грунта;
- расширение номенклатуры быстросъемных рабочих органов;
- разработка комплекса экономически обоснованных типовых технологических карт производства механизированных земляных работ с применением обязательного перечня организационно-технических мероприятий;
- дальнейшее сокращение трудоемкости технического обслуживания.

### **3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКТА МАШИН И ЕГО РАБОТЫ**

Механовооруженность труда оценивают обычно стоимостью занятых в производстве машин, относящихся в среднем к одному рабочему. Энерговооруженность труда выражают количеством механической и электрической (иногда только электрической) энергии, потребленной в процессе производства на отработанный человеко-час или на одного рабочего. Все эти показатели условны и применяют их для сравнения.

Основные технико-экономические показатели комплекта машин:

- 1) сменная производительность комплекта

$$\dot{I}_{\dot{\epsilon}} = N \dot{I}_n, \quad (3.1)$$

где  $N$  – количество ведущих машин, шт.;

$\dot{I}_n$  – производительность ведущей машины, м<sup>3</sup>/смену;

- 2) выработка на одного рабочего, м<sup>3</sup>/смену,

$$B = \frac{\Pi_k}{D}, \quad (3.2)$$

где  $D$  – количество рабочих в комплексной бригаде;

- 3) удельная приведенная стоимость производства работ, руб./м<sup>3</sup>,

$$C_{\Pi} = c + EK. \quad (3.3)$$

где  $c$  – удельная себестоимость земляных работ, руб./м<sup>3</sup>,

$$\tilde{n} = \frac{k_1 \sum \tilde{N}_1 + k_2 \sum \tilde{N}_2}{\dot{I}_{\dot{y}}}; \quad (3.4)$$

$E$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  
 $K$  – капиталовложения, отнесенные к единице годовой производительности ведущей машины, руб./м<sup>3</sup>.

$\sum C_M$  – суммарная себестоимость машино-смен комплекта, руб./смену;

$\sum C_3$  – суммарная заработная плата рабочих, не связанных с управлением машинами, руб./смену;

$k_M, k_3$  – коэффициенты, учитывающие накладные расходы;

4) удельная энергоемкость работы комплекта, кВт/(ч/м<sup>3</sup>) или л.с./(ч/м)<sup>3</sup>,

$$\dot{Y} = \frac{8 \sum P}{\dot{I}_{\text{е}}}, \quad (3.5)$$

где 8,0 – продолжительность рабочей смены, ч;

$\sum P$  – суммарная мощность энергоустановок всех машин комплекта, кВт (л.с.);

5) удельная металлоемкость работы комплекта, кг/(смен/м<sup>3</sup>),

$$M = \frac{\sum G}{\Pi_{\text{к}}}, \quad (3.6)$$

где  $\sum G$  – суммарная масса всех машин комплекта, кг.

Показатели работы комплекта на участке:

1) продолжительность работы  $T$ , сут (вычисляются по формуле (1.27);

2) темп основной работы, м/(чел.дн.),

$$U = \frac{L}{DnT}, \quad (3.7)$$

где  $L$  – длина рассматриваемого участка земляного полотна, м;

$n$  – число рабочих смен в сутках.

3) себестоимость основной работы по возведению земляного полотна, руб./м или тыс. руб./км,

$$C = \frac{cV}{L}. \quad (3.8)$$

## 4 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

### 4.1 Требования безопасности во время работы экскаваторов

Перед началом маневрирования в процессе работы экскаватора машинист обязан убедиться в отсутствии людей в опасной зоне работающего экскаватора, определяемой длиной стрелы и вытянутой рукояти (длиной стрелы и подвеской ковша драглайна).

Во время работы машинисту экскаватора запрещается:

а) производить поворот платформы, если ковш не извлечен из грунта;

б) планировать грунт, очищать площадку боковым движением рукояти;

в) очищать, смазывать, регулировать, ремонтировать экскаватор при поднятом ковше;

г) производить какие-либо работы при нахождении людей между забоем и экскаватором;

д) покидать рабочее место при поднятом ковше.

Выполнять работы экскаватором в охранной зоне подземных коммуникаций допускается только при наличии письменного разрешения владельца этих коммуникаций и под непосредственным надзором руководителя работ, а в охранной зоне газопроводов или кабелей, находящихся под электрическим напряжением, кроме того, под наблюдением работников газового или электрического хозяйства.

Выполнять работы в охранной зоне воздушной линии электропередачи допускается при наличии письменного разрешения владельца линии электропередачи, наряда-допуска, определяющего безопасные условия работы, и под надзором руководителя работ.

Работы на участках с патогенным заражением почвы (свалках, скотомогильниках, кладбищах) допускается выполнять при наличии разрешения органов государственного санитарного надзора.

При рыхлении грунта взрывным способом на время выполнения взрывных работ машинист обязан удалить экскаватор от места взрывных работ на расстояние, указанное руководителем работ, но не менее чем на 50 м.

При рыхлении грунта ударными приспособлениями (клин-молотом, шар-молотом) лобовое стекло кабины экскаватора должно быть оборудовано защитной сеткой.

Грунт, извлеченный из котлована или траншеи, следует погружать в транспортные средства или размещать за пределами призмы обрушения. Не допускается разработка грунта методом «подкопа». При разработке грунта экскаватором с прямой лопатой высоту забоя следует определять с таким расчетом, чтобы в процессе работы не образовались «козырьки» из грунта.

Погрузку грунта в автосамосвалы следует осуществлять со стороны заднего бокового борта. Не допускается перемещение ковша экскаватора над кабиной водителя. Погрузка грунта в автосамосвал допускается только при отсутствии в кабине водителя или других людей.

При необходимости очистки ковша машинист экскаватора обязан опустить его на землю и выключить двигатель.

При транспортировании экскаватора с одного объекта на другой на трейлере или платформе нахождение машиниста в кабине экскаватора не допускается. При транспортировании экскаватора своим ходом или на буксире машинист обязан находиться в кабине экскаватора и выполнять при этом требования «Правил дорожного движения», утвержденных Указом Президента Республики Беларусь № 551 от 28.11.2005.

#### **4.2 Требования безопасности во время работы автогрейдеров**

Перед началом маневрирования во время работы автогрейдера машинист обязан убедиться в отсутствии людей в зоне действия автогрейдера и подать звуковой сигнал. На крутых поворотах скорость перемещения автогрейдера должна быть минимальной.

Во время подъема плужной балки автогрейдера машинист обязан контролировать процесс подъема и выключить механизм подъема при снижении плужной балкой до предельного положения.

При рыхлении грунта взрывным способом на время выполнения взрывных работ машинист обязан отогнать автогрейдер от места взрывных работ на расстояние, указанное руководителем взрывных работ, но не менее чем на 50 м.

При выполнении работ автогрейдером с гидравлической системой управления машинист обязан следить за исправностью предохранительного клапана и соединениями рукавов высокого давления (РВД). РВД, имеющие вздутие или течь масла в соединениях, следует заменить. Ремонт РВД не допускается. При эксплуатации РВД не допускаются их скручивание, зажатие, перегибы.

### **4.3 Требования безопасности во время работы катков**

Перед запуском машины машинист обязан убедиться в отсутствии людей в зоне ее движения и подать звуковой сигнал.

Одновременная работа двух катков и более, двигающихся один за другим, допускается при расстоянии между ними не менее 10 м, а при параллельном движении – не менее 1 м.

Приближение катка к бригаде укладчиков асфальта допускается на расстояние не менее 5 м.

При движения катка на уклоне во избежание сползания или опрокидывания не следует допускать резких поворотов катка. При движении катка под уклон не следует выключать первую передачу, а при движении на подъем – переключать передачи.

Нахождение катка вблизи выемок в грунте с неукрепленными откосами допускается только за пределами призмы обрушения грунта.

При укатке насыпей грунта расстояние от края вальца катка до бровки насыпи должно быть не менее 1 м.

При выполнении работ катком с гидравлической системой управления машинисту необходимо следить за исправностью предохранительного клапана и соединениями РВД. РВД со вздутием или течью масла в соединениях следует заменить. Ремонт РВД не допускается.

При появлении шумов в гидравлической системе или других узлах катка, не свойственных нормальной его работе, машинист обязан прекратить работу до устранения неисправностей.

Устранять неисправности, осматривать отдельные узлы катка, а также смазывать и регулировать их следует при остановленном двигателе, включенном тормозе и установленном в нейтральное положение рычаге переключения передач.

При перегреве двигателя машинисту следует, находясь с подветренной стороны, осторожно открыть крышку заливной горловины радиатора, не наклоняясь над горловиной во избежание ожога горячим паром лица и рук.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Алоян, Р.М.** Технология и организация строительства автомобильных дорог. Ч. 1. Возведение земляного полотна / Р.М. Алоян, С.Г. Цупиков. – Иваново : ИГАСА, 2003. – 350 с.

2 **Белецкий, Б.Ф.** Технология и механизация строительного производства : учеб. / Б.Ф. Белецкий. – 3-е изд. – Ростов н/Д : Феникс, 2004, – 752 с.

3 **Вербицкий, Г.М.** Комплексная механизация строительства : текст лекций / Г. М. Вербицкий. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2006. – 265 с.

4 **ГОСТ 21796-90.** Экскаваторы непрерывного действия. Термины и определения. – Введ. 1991-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 14 с.

5 **ГОСТ 30067-93.** Экскаваторы одноковшовые универсальные полноповоротные. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 26959-86, ГОСТ 22894-77, ГОСТ 17343-83, ГОСТ 4.111-84, ГОСТ 12910-79; введ. 1996-01-01. – Минск : Изд. стандартов, 1996. – 24 с.

6 **Дворковой, В.Я.** Моделирование работы погрузочно-транспортных комплексов / В.Я. Дворковой, А.И. Грузинов // Строительные и дорожные машины. – 1999. – № 6. – С.11–15.

7 **Дегтярёв, А.П.** Комплексная механизация земляных работ / А.П. Дегтярев, А.К. Рейш, С.И. Руденский. – М. : Стройиздат, 1987. – 335 с.

8 Земляные работы : справ. строителя / А. К. Рейш [и др.]; под ред. А.К. Рейша. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1984. – 320 с.

9 Комплексная механизация в дорожном строительстве : учеб. пособие / А.М. Щемелев [и др.]; под ред. А.М. Щемелева. – Могилев : Белорус.-рос. ун-т, 2006. – 540 с.

10 **Кудрявцев, Е.М.** Комплексная механизация строительства : учеб. пособие / Е.М. Кудрявцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Ассоциация строит. вузов, 2005. – 424, с.

11 **Леонович, И.И.** Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог : учеб. / И.И. Леонович, А.Я. Котлобай. – Минск : БНТУ, 2005. – 552 с.

12 Машины для земляных работ : учеб. / Н.Г. Гаркави [и др.]; под ред. Н.Г. Гаркави. – М. : Высш. шк., 1982. – 335 с.

13 **Мензуренко, А.С.** Формирование оптимальной структуры парка машин для земляных работ / А.С. Мензуренко // Механизация строительства. – 2001. – № 10. – С. 22–24.

14 Нормы расхода топлива на механические транспортные средства, суда, машины, механизмы и оборудование : [приложение к постановлению Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь 06.01.2012 № 3 с изменениями и дополнениями от 02.09.2014 г. № 31 и от 20.01.2016 г. № 2].

15 Повышение эффективности использования дорожных машин / А.П. Крившин [и др.]. – М. : Транспорт, 1980. – 263 с.

16 Пособие по технологии сооружения земляного полотна железных дорог (В развитие СНиП 3.06.02–86). – М. : ПКТИ Трансстрой, 1993. – 268 с.

17 **РСН 8.03.101–2007.** Ресурсно-сметные нормы на строительные конструкции и работы. Сборник 1. Земляные работы. М-во архитектуры и строит. Респ. Беларусь. – Минск, 2007. – 467 с.

18 Руководство по сооружению земляного полотна автомобильных дорог. – М. : Транспорт, 1980. – 160 с.

19 Строительство, эксплуатация и ремонт автомобильных дорог : справ. дорожно мастера / под ред С.Г. Цупикова. – М. : Инфра-Инженерия, 2005, – 798 с.

20 Технологические схемы комплексной механизации основных видов дорожно-строительных работ ВСН 10-72. – М. : Транспорт, 1974. – 207 с.

21 Технология строительного производства : учеб.-метод. комплекс. В 5 ч. Ч. 2 / сост. В.В. Бозылев, Д.И. Сафончик; под общ. ред. В.В. Бозылева. – Новополоцк : ПГУ, 2008. – 284 с.

22 **ТКП 45-3.03-19-2006 (02250).** Автомобильные дороги. Нормы проектирования = Аўтамабільныя дарогі. Нормы праектавання. – Введ. 2006–07–01. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 2006. – 42 с.

23 Типовая инструкция по охране труда для машиниста экскаватора : [утв. постановлением М-ва транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь 23.07 2007 № 43].

24 Типовая инструкция по охране труда для машиниста автогрейдера : [утв. постановлением М-ва транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь 23.07 2007 № 43].

25 Типовая инструкция по охране труда для машиниста катка самоходного. [утв. постановлением М-ва транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь 23.07 2007 № 43].

26 **ТКП 200–2009 (02191).** Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования = Аўтамабільныя дарогі. Земляное палатно. Правілы праектавання. – Введ. 2011–09–01. – Минск : М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2009. – 139 с.

27 **ТКП 313-2011 (02191).** Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила устройства = Аўтамабільныя дарогі. Земляное палатно. Правілы ўстройства. – Введ. 2011–07–06. – Минск : М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2011. – 143 с.

28 **Томберг, К.И.** Технология и механизация сооружения железнодорожного земляного полотна : метод. указ. по самостоятельной работе студентов специальности 29.09 «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство»

при курсовом и дипломном проектировании. / К.И. Томберг – Гомель : БелИИЖТ, 1993, – 102 с.

29 **Томберг, К.И.** Технологические схемы возведения железнодорожного земляного полотна : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство» / К.И. Томберг. – Гомель : БелГУТ, 2008, – 244 с.