

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**Казахский национальный технический университет
имени К. И. Сатпаева**

**С. А. Джиенкулов, Б. Т. Сазамбаева,
М. Х. Саргужин, Н. Т. Хадеев**

МАШИНЫ ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Учебное пособие

**Рекомендовано Научно-методическим советом
университета в качестве учебного пособия**



Алматы 2014

УДК 621.86(075.8)
ББК 39.9я73

М 38 Джиенкулов С. А., Сазамбаева Б. Т., Саргужин М. Х.,
Хадеев Н. Т. Машины для земляных работ для обучающихся по
специальности В071300 «Транспорт, транспортная техника и
технологии»: Учеб. пособие. – Алматы: КазНТУ им. К. И. Сатпаева,
2012. – 258 с.

ISBN 978-601-228-630-4

*В данном учебном пособии рассмотрены вопросы по
конструкциям и расчету машин для земляных работ. В частности
рассмотрены новые конструкции и расчеты одноковшовых
экскаваторов, погрузчиков, автогрейдеров, бульдозеров, катков,
эксплуатируемых в производственных отраслях Республики
Казахстан. Учебное пособие предназначено для бакалавров,
магистрантов, докторантов и инженерных работников технических
специальностей.*

УДК 621.86(075.8)
ББК 39.9я73

Рецензент: *Касымбек Ж. Н.*, директор Алматинского
экономического колледжа, д-р техн. наук, проф.

Печатается по плану издания Министерства образования
и науки Республики Казахстан на 2014 г.

ISBN 978-601-228-630-4

© С. А. Джиенкулов, Б. Т. Сазамбаева,
М. Х. Саргужин, Н. Т. Хадеев
© КазНТУ, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие написано для бакалавров специальности В071300 «Транспорт, транспортная техника и технологии».

В нем достаточно полно отражены конструкции и модели машин для земляных работ, приведена характеристика, свойства и классификация грунтов, современные виды машин для земляных работ, методы расчета основных параметров. Учебное пособие также может быть использовано инженерами, магистрантами и соискателями по специализации «Транспорт, транспортная техника и технологии», а также для других машиностроительных специальностей, изучающих курс строительно-дорожные машины.

1. ОБЗОР РАЗВИТИЯ МАШИН ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Отечественное строительно-дорожное оборудование предприятий: горное, металлургическое и строительное, фактически не обновлялось в течение 20 последних лет и давно имеет предельный износ на 65–85 %.

Оборудование ремонтных, машиностроительных заводов и других промышленных предприятий требует оснащения современным новым оборудованием. Поэтому для создания современных высоко-конкурентных машин для земляных и мелиоративных работ с минимальным возможным экологическим вредом окружающей среде необходимо техническое перевооружение этих предприятий. Необходимо создание такой машиностроительной базы, которая бы отвечала мировому уровню, а также требованиям современных строительных и машиностроительных заводов и предприятий.

Низкий конструктивный и технологический уровень отечественных машин, удручающее состояние заводов требует приведения их в соответствие с мировыми стандартами. Возникает вероятность того, что частные промышленно-строительные комплексы, ГОКи, шахты и другие предприятия должны стать элементами крупных строительных корпораций, в которые должны войти и машиностроительные предприятия.

На современной зарубежной строительной и землеройной технике установлены современные бортовые управляющие системы, меняющие функциональную и экономическую сущность машины, которые совершили революционный скачок в своем развитии в последние десятилетия. Машины, оборудованные электронными системами управления, охватывающие управление двигателем, трансмиссией, рабочими органами, диагностику, позиционирование машины, естественно являются мировыми лидерами. Бортовой компьютер, контролирующий несколько систем и контролеры, обслуживающие отдельные системы обеспечивают новые стандарты управления. Двигатели и трансмиссии с адаптивным управлением экономят систему исполнительных устройств оборудования, заключающуюся в их дистанционном управлении. Поэтому нужны новые технологии, новые эксплуатационные качества и создание новых

конкурентоспособных машин с микроэлектронными, электромагнитными и гидравлическими технологиями управления. Рост в стране числа машин импортного производства уже нелинейный, а экспоненциальный. В связи с этим перед отечественными разработчиками и создателями землеройной и дорожной техники стоит задача создания этих машин с управляющей системой высокого уровня.

Создание и вывод на рынок новых образцов землеройно-дорожной техники возможно на основе быстреего внедрения CAD/CAM/CAE/PDM –технологии, как составной части технологии по управлению жизненным циклом изделия.

Широкое применение колесных и гусеничных транспортных средств (КГТС) объясняется одним объединением в одной машине нескольких функций: движителя, обеспечивающего поступательное движение машины; поддерживающего устройства, передающего нагрузку от рабочих органов машины на основание; направляющей части машины, обеспечивающей сохранение или необходимое изменение направления движения; упругой системы, гасящей или уменьшающей ее колебание во время работы.

Цикл создания машин длится от 3 до 5 лет, а в связи со сложностью отрасли машиностроения серийное производство машин продолжается более 5 лет. Машина, создаваемая сегодня должна быть прогрессивной в течение 1–12 лет.

Большое значение в разработке совершенных конструкций машин и перспектив его развития имеет знание истории его развития.

1.1. Исторический обзор развития дорожных машин

Известно, что первые машины выполнялись на катках, позже на деревянных и металлических колесах. По мере увеличения массы и мощности давление колес машин на грунт увеличивалось. Для перемещения машин на металлических колесах требовались настилы, много времени уходило на передвижку путей. Использование железнодорожного хода нормальной колеи существенно не смогло изменить положения. И тогда появление гусеничного хода, более

маневренного и пригодного к использованию по бездорожью повлияло на развитие этих машин. Большие нагрузки на колеса, затруднявшие движение на таких шинах по плохим дорогам явились предпосылкой к усовершенствованию этих машин, стали создаваться быстроходные гусеничные системы, заимствованные у танков и тягачей. Но сложность конструкции и высокая стоимость также не давали развиваться этим машинам. Требование увеличения скорости, маневренности строительно-дорожных машин, а также появление пневматических шин требует усовершенствования этих машин с колесным ходом. Однако из-за высокого давления пневматические шины также оказались не приемлемыми для езды по рыхлому грунту.

С 1918 по 1929 гг. характеризуются годами выпуска первых тракторов на постсоветском пространстве зарубежных и отечественных конструкций на ряде машиностроительных и паровозостроительных заводах страны.

Один из конструкторов – Мамин Я. В., возглавивший Балаковский завод «Возрождение» начинает работы по созданию и выпуску легких и дешевых колесных тракторов (рис. 1.1), гусеничных тракторов (рис. 1.2.).

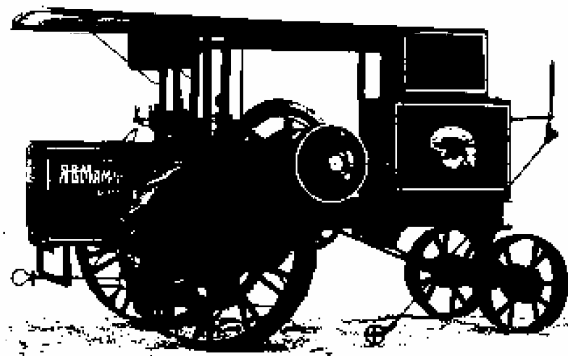


Рис. 1.1. Один из первых колесных тракторов

Первый одноковшовый экскаватор с обратной лопатой приведен на рис. 1.3.

С 1918 г. начинается массовое применение гусениц на тихоходных землеройных машинах [1].

Появление шин низкого регулируемого давления до 100 кН/м^2 , а затем и бескамерных с допускаемой нагрузкой до 150 и даже до 250 кН на колесо дало значительное преимущество колесным машинам. И в настоящее время гусеничные землеройно-транспортные машины постепенно заменяются универсальными машинами с унифицированными узлами. За прошедшие 150–200 лет колесный ход несколько раз получает свое дальнейшее развитие и применение. Во второй половине XXI в. создается колесный грейдер с управляемым отвалом, установленным под углом к направлению движения для перемещения срезаемого грунта в сторону (рис. 1.3).

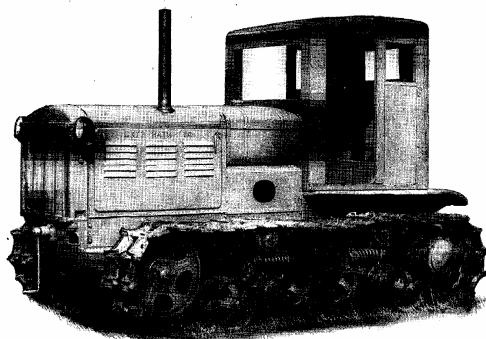


Рис. 1.2. Один из первых гусеничных тракторов



Рис. 1.3. Один из первых одноковшовых экскаваторов

Усовершенствуются ползунковые скреперы, улучшаются формы ковша, облегчающие управление ковшом. По мере наполнения скрепер под действием силы тяжести грунта в ковше углубляется, и на салазках, являющихся продолжением зубьев, скользит к месту разгрузки. При разгрузке рабочий подъемом ручек вызывает врезание скрепера в грунт и его опрокидывание.

1.2. Исследования взаимодействий рабочих органов машин для земляных работ с грунтом

В процессе работы землеройной машины большая часть энергии затрачивается на копание грунта – его резание и заполнение им рабочего органа или перемещения по рабочему органу. Поэтому снижение энергоемкости копания позволяет повысить производительность машины в ряде случаев без существенного изменения конструкции и при малых материальных затратах. Это обусловлено тем, что рабочие органы землеройных машин по массе и стоимости составляют незначительную (примерно до 5 %) часть общей массы и стоимости машины.

Решение проблемы снижения энергоемкости копания грунта и создания более эффективных рабочих органов возможно на основе анализа процессов, происходящих при взаимодействиях рабочих органов с грунтом. Основы теории резания грунта (почвы) плугами и другими сельскохозяйственными машинами и орудиями подобного рода были разработаны акад. В. П. Горячкиным и развиты В. А. Желиговским, М. Х. Пигулевским, Н. В. Щучкиным, М. И. Летошневым, А. Д. Далиным, В. С. Жегаловым, Г. И. Синеоковым и другими исследователями [2, 3, 4, 7, 9].

Для определения силы сопротивления копанию плугом В. П. Горячкиным [9] была предложена рациональная формула

$$P = fG + kab + eabv^2, \quad (1.1)$$

где P – сила тяги плуга; G – вес плуга; k – коэффициент сопротивляемости деформации среды; a – глубина пахоты; b – ширина захвата; e – коэффициент, учитывающий

сопротивление при отбрасывании вырезанного пласта грунта;
 v – скорость движения плуга, f коэффициент трения
 поверхности в зависимости от угла наклона:

$$f = \frac{f^1}{\cos \theta + f^1 \sin^1}, \quad (1.2)$$

где f^1 – коэффициент трения о поверхность плуга; θ – угол наклона силы тяги к горизонту.

Первая составляющая формулы учитывает сопротивление трению плуга о дно борозды, вторая – сопротивление деформации разрабатываемой среды и третья – изменение живой силы частиц среды, т. е. силы сопротивления отбрасыванию пласта. При расчете силы тяги плуга В. П. Горячкин рекомендует принимать $f = 0,79 - 1,25$; $k = 2200 - 5000 \text{ кгс/м}^2$; $e = 150 - 200 \text{ кгс}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$.

Исследования В. П. Горячкина, его формула, отражающая основные элементы физического процесса взаимодействия рабочего органа плуга с почвой, явились основополагающими в теории резания грунтов. Рабочие органы одноковшовых экскаваторов, скреперов и некоторых других землеройных машин работают по принципу лобового резания грунта. Для ковшовых рабочих органов существенное значение имеет также процесс наполнения и связанное с этим сопротивление передвижению грунта в ковше.

В связи с различными условиями работы плугов и экскавационных машин советскими учеными – Н. Г. Домбровским, А. Н. Зелениным, А. Д. Далиным, И. Я. Айзенштоком, Ю. А. Ветровым, В. И. Баловневым и другими [5, 6, 8, 9], а также зарубежными – Е. Динглингером, И. Ратье, Г. Кюном, Ф. Кинастом [9, 18], были проведены крупные экспериментальные и теоретические исследования и разработаны основы теории резания грунта и заполнения ковша применительно к экскавационным машинам.

Расчетный метод Н. Г. Домбровского [9] рассматривает процесс копания, который кроме сопротивлений резанию включает в себя также преодоление сопротивлений трению рабочего органа о грунт, перемещению призмы волочения и

движению грунта в ковше. Сопротивление грунта копанию ковшом экскаватора Н. Г. Домбровский определяет по формуле

$$P_{01} = P_p + P_T + P_{II}, \quad (1.3)$$

где P_p – сопротивление грунта резанию; P_m – сопротивление трению рабочего органа о грунт; P_{II} – сопротивление перемещению призмы волочения и движению грунта в ковше.

$$P_{01} = kbh + \mu_1 N + \varepsilon(1 + q_{np})qk_H, \quad (1.4)$$

где k – удельное сопротивление резанию; b и h – ширина и толщина срезаемого пласта грунта; μ_1 – коэффициент трения ковша о грунт; N – усилие давления ковша на грунт; q_{np} – объем призмы волочения, выраженный в частях емкости q ковша; ε – коэффициент сопротивления наполнению ковша и перемещению призмы волочения; k_H – коэффициент наполнения ковша (отношение объема разрыхленного грунта в ковше к геометрическому объему ковша).

Для практических целей Н. Г. Домбровский предложил определять сопротивление копанию ковшом по упрощенной формуле В. П. Горячкина, используя лишь ее первый член, но учитывая все сопротивления в ковше коэффициентом удельного сопротивления k_I :

$$P_{01} = k_1 bh = k_1 F,$$

где k_I – удельная сила копания, включающая в себя не только сопротивление резанию, но и все другие сопротивления (трение ковша о забой, сопротивление грунта при его продвижении в ковше и др.); определяется экспериментально применительно к рабочему органу землеройной машины и категории грунта; P_{01} – усилие на зубьях ковша (касательная сила сопротивления копанию грунта); b – ширина копань; F – площадь срезаемого грунта.

Большой вклад в исследования процесса резания грунтов внес А. Н. Зеленин. Им предложены следующие формулы для определения усилий резания P :

1) для элементарных профилей (зубья различных ковшей, боковые стенки ковшей, подрезные ножи траншейных канавкопателей, нож дренажного плуга, зуб бороны, прямой нож фрезы, дисковый нож плуга и др.)

$$P = ch^{1,35}(1 + 0,1s)\left(1 - \frac{90^\circ - \alpha}{180^\circ}\right)\beta_0, \quad (1.5)$$

где c – коэффициент резания (число ударов плотномера ДорНИИ); h – глубина резания; s – толщина профиля; α – угол резания; β_0 – коэффициент, зависящий от угла заострения α ;

α , град.....	150	120	90	60	50–15
β_0	1	0,96	0,9	0,8	0,81

2) для режущих профилей без зубьев

$$P = ch^{1,35}(1 + 2,6\ell)(1 + 0,0075\alpha)(1 + 0,035)\beta_0\mu, \quad (1.6)$$

где ℓ – длина горизонтальной кромки; μ – коэффициент, зависящий от степени блокировки стружки; при блокированном резании $\mu=1$, при полублокированном и свободном резании μ зависит от 1.

Значительную экспериментально-исследовательскую работу по резанию грунтов и пород провел Ю. А. Ветров [3, 6]. Он выяснил закономерности резания элементарными профилями и сложными ножами различной формы. Ю. А. Ветров рекомендует ряд эмпирических формул для определения касательной и нормальной составляющих усилия резания грунта.

Касательная сила блокированного резания грунта простым острым ножом

$$P = \varphi m_{CB} bh + 2m_{бок} h^2 + 2m_{бок.ср} h, \quad (1.7)$$

где φ – коэффициент, учитывающий влияние угла резания; m_{CB} – удельная сила резания в лобовой части прорези при угле резания $\alpha = 45^\circ$; $\varphi m_{CB} = P_{CB}$ – удельная сила резания; $m_{бок}$ – коэффициент, характеризующий силы разрушения грунта в боковых частях прорези:

$$m_{бок} = \frac{1}{2} P_{бок} k_{бок}^2 \operatorname{ctg} \rho; \quad (1.8)$$

здесь $P_{бок}$ – удельная сила разрушения грунта в боковых расширениях прорези; $k_{бок}$ – коэффициент глубины расширяющейся части прорези, равный для разных грунтов 0,8–0,95; ρ – угол наклона прорези; $m_{бок.ср}$ – коэффициент, характеризующий удельную силу среза грунта одним из боковых ребер ножа:

$$m_{бок.ср} = P_{бок.ср} (1 - k_{бок}). \quad (1.9)$$

В исследованиях Ю. А. Ветрова наиболее полно изучен вопрос о влиянии износа и затупления режущих кромок горизонтальных профилей на изменение усилий резания. Формулы сил резания грунтов, описанные выше, имеют главным образом эмпирический характер. Сложность процесса резания не позволяет дать общий метод аналитического определения сопротивления ножу, который бы полностью основывался на какой-либо теории прочности материала.

К. А. Артемьевым [5] проведен анализ процесса резания и копания грунта скрепером, разработан графоаналитический метод определения сопротивления резанию и копанию грунта. Им установлено влияние основных параметров скреперного ковша, угла резания, толщины и ширины стружки на величину удельного сопротивления копанию. Предлагаемые им зависимости позволяют вычислить сопротивление резанию грунта ковшом или другим рабочим органом землеройной машины по результатам лабораторного испытания небольшого образца грунта.

Исследования процесса взаимодействия рабочих органов землеройных машин с грунтом позволили установить зависимости для расчета усилий копания, получить величины удельного сопротивления копанию различных грунтов различными рабочими органами, создать основы проектирования отечественной землеройной техники. Исследования характеризуются также углубленным изучением механики процесса взаимодействия рабочих органов с грунтом и использованием для этой цели теорий разрушения материалов и предельного состояния сыпучей среды и теории резания металлов.

1.3. Виды земляных сооружений. Способы разработки грунтов

Земляные работы – это комплекс работ, включающих выемку (разработку) грунта, перемещение погрузку или укладку. Земляные работы являются одним из важнейших элементов промышленного, транспортного, гидротехнического и гражданского строительства, сельскохозяйственных и горных работ. Цель земляных работ – разработка грунтов, создание инженерных сооружений из грунта (плотин, железнодорожных и автомобильных дорог, каналов, траншей, карьеров и т. д.), устройство оснований зданий и сооружений, планировка территорий, удаление земляных масс для вскрытия месторождений полезных ископаемых и добыча полезных ископаемых [4, 7]. Различают земляные работы открытые (на поверхности земли), подземные и подводные. В настоящее время земляные работы полностью механизированы и выполняются высокопроизводительными дорожными и землеройными машинами. К подготовительным и вспомогательным земляным работам относятся: очистка территории, разбивка земляных сооружений, отвод поверхностных вод, устройство дренажа сооружений, крепление стенок выемки, закрепление грунтов и др. Основные способы разработки земляных работ: механический, взрывной и гидромеханический.

При механическом способе земляных работ (наиболее распространенном) разработка грунта осуществляется землеройными и землеройно-транспортными машинами (экскаваторы, скреперы бульдозеры, грейдеры, грейдер-элеваторы, погрузчики, канавокопатели и др.). Для транспортирования грунта на значительные расстояния применяется транспортный способ, при котором разработка грунта проводится землеройными машинами с погрузкой в рельсовый или безрельсовый транспорт или на ленточные конвейеры. Способ разработки грунтов с использованием напора струи воды и землесосных снарядов, которым разрабатывают около 12 % общего объема грунтов в строительстве, называют *гидромеханическим*. Крепкие скальные породы и мерзлые грунты обычно разрушают взрывом под давлением газов, образующихся при воспламенении взрывчатых

веществ, которые закладывают в специально пробуренные скважины (шпury), в прорезные узкие щели или в траншеи.

Земляными сооружениями называют устройства в грунте, полученные в результате его удаления за пределы сооружения, или из грунта, внесенного в сооружение извне. Первые называют *выемками*, а вторые – *насыпями*. В зависимости от формы и размеров выемок различают котлованы, траншеи, канавы, кюветы, каналы, ямы, скважины и шпury. Котлованы и ямы имеют соизмеримые размеры во всех трех направлениях, при этом глубина котлована обычно меньше, а ямы – больше двух других размеров. Кроме того, ямы имеют небольшой объем. Длины траншей, канав, кюветов и каналов существенно превышают размеры их поперечных сечений. Скважины – это закрытые выемки, один размер которых (глубина или длина в зависимости от ориентации выемки относительно открытой поверхности грунта) существенно превышает размеры их поперечных сечений. Скважины диаметром до 75 мм включительно называют *шпурами*. Скважины могут быть вертикальными, горизонтальными и наклонными.

При устройстве выемок вынутый из них грунт удаляют за пределы рабочей площадки или укладывают рядом в отвалы для его последующего использования при обратной засыпке. При сооружении насыпей грунт доставляют извне или из *боковых резервов*.

Различают временные земляные сооружения (траншеи для укладки в них подземных коммуникаций и т. п.) и земляные сооружения длительного пользования (придорожные кюветы, дорожные насыпи, дамбы, плотины и т. п.). Временные земляные сооружения отрывают на время строительства, например, на время укладки трубопровода и монтажа трубопроводной арматуры, после чего исходную земляную поверхность восстанавливают. В зависимости от вида и состояния грунта, погодных условий, а также продолжительности существования временных земляных сооружений, во избежание обрушения, их стенки укрепляют или оставляют без крепления. Боковые откосы земляных сооружений длительного пользования обычно укрепляют дерном, деревянными рейками и т. п. Чаше насыпи отсыпают с послойным уплотнением грунта.

К земляным сооружениям относятся также спланированные полосы и площадки, которые могут быть как временными, так и сооружениями длительного пользования. В зависимости от проектного уровня по отношению к исходному рельефу, необходимости замены естественного грунта, доставленному извне эти земляные сооружения могут выполняться по схеме образования выемок или насыпей, а также комбинированным способом: удалением грунта из возвышенностей и засыпкой им впадин.

Если при образовании выемок выполняются работы только по отделению части грунта от массива, связанному с разрушением его связности, и его перемещением, то при сооружении насыпей, кроме перемещения грунта, обычно решается обратная задача – восстановления прежнего плотного состояния грунта.

Способы разработки грунтов. Наиболее энергоемкой из всех операций по устройству выемок является отделение грунта от массива (разрушение грунта), в связи, с чем способы разработки грунтов определяются по способам их разрушения, характеризуемым видом энергетического воздействия.

Наибольшее применение в строительстве нашло механическое разрушение грунтов сосредоточенным контактным силовым воздействием рабочего органа машины на грунт, называемым также *резанием*. Для реализации этого способа рабочие органы грунторазрабатывающих машин оснащают клинообразными режущими инструментами, перемещаемыми относительно грунтового массива. В зависимости от скорости и характера воздействия режущего инструмента различают *статическое* и *динамическое разрушения грунтов*. При статическом разрушении режущий инструмент движется равномерно или с незначительными ускорениями при скорости до $2\div 2,5$ м/с. Этот способ применяется как основной при разработке грунтов экскаваторами, землеройно-транспортными машинами, рыхлителями и буровыми машинами вращательного действия. В машинах, разрабатывающих прочные скальные породы, реализуется как статический, так и динамический способы их разрушения, в частности, ударный. Известны также вибрационный и виброударный способы, которые пока еще не получили широкого промышленного применения. Энергоемкость

механического разрушения песчаных и глинистых грунтов в зависимости от их крепости и конструкции режущих инструментов составляет от 0,05 до 0,5 кВтч/м³. Этим способом выполняют до 85 % всего объема земляных работ в строительстве.

Рабочий процесс машины для механической разработки грунта может состоять только из операции разрушения грунта, как, например, у рыхлителя при разрушении прочных грунтов, или включать эту операцию как составную часть рабочего процесса. В последнем случае одновременно с отделением от массива грунт захватывается ковшовым рабочим органом или накапливается перед ним – при отвальном рабочем органе, например, при разработке бульдозером, автогрейдером. Перемещение грунта ковшовым или отвальным рабочим органом также является составной частью рабочего цикла машины, а отсыпка грунта, выполняемая в конце этой операции, заключается в целенаправленной его выгрузке из рабочего органа. Для увеличения дальности перемещения грунта некоторые машины оборудуют специальными транспортирующими устройствами, например, экскаваторы непрерывного действия. С той же целью такие машины как скреперы после отделения грунта от массива и заполнения им ковша перевозят грунт к месту отсыпки на значительные расстояния собственным ходом. При экскаваторной разработке для перевозки грунта используют специальные транспортные машины – землевозы, а также автосамосвалы, железнодорожные платформы или баржи.

Для интенсификации процесса разрушения грунта используют комбинированные способы, например, газомеханический, обеспечиваемые импульсной подачей газов под давлением в отверстия на землеройном рабочем органе. Выходящие через отверстия газы разрыхляют грунт, уменьшая этим сопротивление перемещению рабочего органа. Сопротивляемость разрушению водонасыщенных мерзлых грунтов может быть понижена путем ввода в них химических реагентов с пониженной температурой замерзания (хлористого натрия, хлористого калия и др.).

При устройстве гидротехнических земляных сооружений (плотин, дамб), а также в некоторых других случаях на водоемах

или вблизи их широко применяют гидравлическое разрушение грунтов струей воды с использованием гидромониторов и землесосных снарядов. Таким же способом добывают песок, гравий или песчано-гравийную смесь для последующего использования как строительного материала. Энергоемкость процесса достигает 4 кВтч/м^3 , а расход воды – до $50\div 60 \text{ м}^3$ на 1 м^3 разработанного грунта. Тем же способом разрабатывают грунты на дне водоемов. Малосвязные грунты при этом разрабатывают всасыванием без предварительного рыхления, а прочные грунты предварительно рыхлят фрезами.

Для бурения шпуров применяют машины механического бурения, а также термо- и термопневмобуры. Щели и траншеи обычно разрабатывают механическим способом. В термобуре реализуется термомеханический способ разрушения грунта: его прогрев высокотемпературной (до $1800\div 2000 \text{ }^\circ\text{C}$) газовой струей с последующим разрушением термоослабленного слоя грунта режущим инструментом. При термопневматическом бурении грунт разрушается и выносится из скважины высокотемпературной газовой струей со скоростью до 1400 м/с . Разработка грунтов взрывом наиболее энергоемкая, а, следовательно, наиболее дорогая из всех рассмотренных выше способов.

Для дробления валунов и негабаритных камней, образующихся в результате разрушения грунтов взрывом, применяют установки, реализующие электрогидравлический способ разрушения грунтов, использующий ударную волну, которая образуется в искровом разряде в жидкости. При этом полученная в разрядном канале теплота нагревает и испаряет близлежащие слои жидкости, образуя парогазовую полость с высоким давлением, воздействующим на грунт.

Реже применяют физические способы разрушения грунтов без комбинирования с другими способами. Они основаны на воздействии на грунт температурных изменений (прожигание прочных грунтов, оттаивание мерзлых грунтов), токов высокой частоты, ультразвука, электромагнитной и инфракрасной энергии и т. п.

Выбор способа разработки зависит, прежде всего, от прочности грунта, в т. ч. и сезонной, связанной с его промерзанием. При правильной организации плановых

(неаварийных) работ можно избежать или свести к минимуму энергетические и другие затраты, связанные с разработкой мерзлых грунтов, выполняя земляные работы преимущественно до наступления зимы. В строительной практике используют также способы предохранения подлежащих разработке в зимнее время грунтов от промерзания путем их укрытия специальными матами или подсобными материалами (опилками, выпавшим до промерзания грунта снегом, разрыхленным слоем грунта и т. п.). Так, в трубопроводном строительстве, где, во избежание обрушения, траншеи отрывают загодя с небольшим отрывом по времени перед укладкой в них труб, подлежащих зимней разработке, участки отрывают до наступления морозов на неполную глубину и тут же их засыпают. Разрыхленный грунт предохраняет нижележащие слои от промерзания и позволяет повторно разрабатывать траншеи требуемой глубины также при низких температурах окружающего воздуха.

2. СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ

Машины для земляных работ эксплуатируются в грунтах, обладающих различными физико-механическими свойствами, оказывающими определяющее влияние на производительность и эффективность этих машин. Физико-механические характеристики грунтов влияют на трудность их разработки и проходимость землеройных машин и должны учитываться при выборе типа и мощности рабочего и ходового оборудования машин, предназначенных для работы в заданных грунтовых условиях.

В зависимости от происхождения и последующего развития грунтов, их состояния и свойств, они разделяются на следующие основные классы [7]: скальные, полускальные, крупнообломочные несцементированные, песчаные и глинистые.

Скальные грунты представляют собой горные породы с жесткой связью между зернами (спаянные или сцементированные), обладающие пределом прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии не менее 50 Па/см^2 (граниты, диориты, песчаники, известняки и др.). Эти грунты упруги и малосжимаемы, водостойчивы и водонепроницаемы [7].

К полускальным грунтам относят горные породы с пределом прочности на сжатие в водонасыщенном состоянии, меньшим 50 Па/см^2 , способные к незначительному уплотнению (мергели, окремненные глины, песчаники с глинисто-кремниевым цементом и др.) или к размягчению и растворению в воде (гипс, гипсоносные конгломераты, каменная соль и др.).

К крупнообломочным несцементированным грунтам относят породы, содержащие более 50 % по массе обломков с размерами более 2 мм, а к песчаным – сыпучие грунты в сухом состоянии, содержащие менее 50 % по массе частиц крупнее 2 мм. Крупнообломочные и песчаные грунты являются сыпучими грунтами, не способными воспринимать растягивающие напряжения и легко разрушающимися под воздействием сдвигающих сил.

Глинистые грунты являются продуктом химического выветривания горных пород и содержат значительное количество по массе частиц размером менее 0,005 мм.

Мельчайшие частицы грунтов соединены между собой сложными связями и в зависимости от степени насыщения водой могут обладать свойствами твердого, пластичного или жидкого тела.

Трудность разработки грунтов оценивается с учетом ряда их физико-механических характеристик: гранулометрического свойства, пластичности, липкости, разрыхляемости, плотности, влажности, прочности.

2.1. Гранулометрические свойства

Гранулометрические свойства грунта оцениваются весовым содержанием фракций, выраженным в процентах. Может быть принята следующая классификация грунтов по фракциям [8–9] (размерам частиц, a): a , мм

Галечные, щебеночные (крупнообломочные).....	100–10
Гравийные.....	10–2
Песчаные.....	2–0,5
Пылеватые.....	0,05–0,005
Глинистые.....	<0,005

По гранулометрическому составу различают крупнообломочные, гравийные и песчаные грунты. Глинистые грунты, обладающие связностью, классифицируются по **числу пластичности** W_{II} , представляющему собой разность между границей текучести W_T и границей раскатывания W_p :

$$W_{II} = W_T - W_p.$$

Границей текучести называют весовую влажность (в процентах) приготовленного глинистого теста, при которой на глубину 10 мм за время 5 с погружается под действием собственного веса (76 г) конус с углом при вершине, равным 30°. Границей раскатывания называют весовую влажность (в процентах), при которой приготовленное глинистое тесто, раскатываемое в жгут толщиной 3 мм, начинает крошиться.

Плотность грунта (объемная масса) γ представляет собой отношение массы данного образца грунта G_r к его объему V :

$$\gamma = G_f/V \text{ г/см}^3 \text{ или т/м}^3.$$

Плотность грунтов, разрабатываемых землеройными машинами, находится примерно в пределах 1,3–2,4 т/м³.

Влажность грунта W (в процентах) представляет собой отношение массы воды G_B к массе минеральных частиц (скелета грунта) $G_{ск}$ в данном объеме грунта:

$$W = \frac{G_B}{G_{ск}} 100. \quad (2.1)$$

Влажность изменяется от 1–2 % в сухих песках до 200 % и более в текучих глинах, морском и речном иле. Просматривается связь увеличения слеживаемости, уплотнения, смерзаемости, теплостойкости, коррозии ограждающих конструкций и дыхания груза от повышения его влажности. С увеличением влажности возрастают адгезия (прилипание) и аутогезия (взаимодействие частиц с рабочими органами машин). Аутогезия возникает при контакте двух разнородных конденсированных тел.

Липкостью называют свойство в основном глинистых грунтов при определенной влажности прилипать к рабочим поверхностям из различных конструкционных материалов, взаимодействующим с грунтом. Сила прилипания грунта к стали достигает 0,1–0,2 Па/см², что может повлечь за собой налипание на рабочую поверхность слоя грунта толщиной до нескольких десятков сантиметров [11] и значительно снизить эффективность работы землеройной машины.

Разработка землеройными машинами мерзлых грунтов при отрицательной температуре сопровождается примерзанием налипшего грунта к поверхности рабочего органа или других элементов конструкции. Силы сцепления в зоне контакта примерзшего грунта с поверхностью конструкции достигают величин, в десятки и сотни раз превышающих значения липкости. Намерзший на рабочие поверхности грунт значительно снижает производительность землеройных машин.

Разрыхляемостью грунта называют его способность увеличиваться в объеме в процессе разработки. Количественным критерием разрыхляемости грунта служит

коэффициент разрыхления k_p . Он представляет собой отношение объема разрыхленного в процессе разработки грунта V_p к объему грунта в естественном залегании V :

$$k_p = V_p / V. \quad (2.2)$$

Средние значения k_p для различных грунтов различны и находятся в пределах 1,1–1,35. Для взорванных скальных и мерзлых грунтов k_p находится в среднем в пределах 1,45–1,6. Коэффициент k_p зависит также от формы и размеров рабочего органа, от параметров срезаемого слоя грунта и должен учитываться как при создании землеройных машин, так и при их эксплуатации.

Значительное влияние на трудность разработки грунтов и проходимость землеройных машин оказывают механические характеристики грунтов – сопротивления сжатию, сдвигу и разрыву, сцепление, внутреннее и внешнее трение. Сопротивление связных грунтов сжатию во много раз превосходит сопротивление грунта сдвигу и разрыву.

Одним из показателей прочности грунтов является сопротивление грунтов одноосному сжатию σ_0 , которое, например, для глинистых грунтов, $\sigma_0 = 0,25\text{--}4 \text{ Па/см}^2$ по данным [11].

Модуль деформации грунта E_d – величину, определяют по данным испытаний грунтов на сжимаемость по кривой сопротивления грунта вдавливанию штампа:

$$E_d = \alpha \frac{\sigma_d D}{\lambda} \text{ кгс / см}^2, \quad (2.3)$$

где α – поправочный коэффициент, учитывающий форму штампа ($\alpha \approx 1,1\text{--}1,25$, для квадратного штампа $\alpha \approx 1,1$); σ_0 – напряжение по поверхности грунта под штампом, Па/см^2 ; λ – осадка, см; D – диаметр штампа, см.

Сопротивление грунта сдвигу зависит от нормального напряжения σ , коэффициента внутреннего трения $\mu = \text{tg} \varphi$, величины сцепления грунта c_0 и может быть определено по формуле Кулона

$$\tau = \sigma \text{tg} \varphi + c_0. \quad (2.4)$$

Величины плотности γ , угла внутреннего трения φ и сцепления c_0 для глинистых грунтов различной консистенции.

При производстве земляных работ и определении ряда параметров землеройных машин необходимо знать величину угла естественного откоса грунта φ_0 , зависящую от ряда факторов. Значения угла φ_0 в градусах для различных грунтов и разного их состояния приведены в [9–11] табл. 2.1.

Таблица 2.1

Консистенция (состояние грунта)	Глина			Суглинок			Супесь		
	γ , т/м ³	φ_0 , град	c_0 , кгс/см ²	γ , т/м ³	φ_0 , град	c_0 , кгс/см ²	γ , т/м ³	φ_0 , град	c_0 , кгс/см ²
Твердая	2,15	22	1,0	2,15	25	0,6	2,05		0,20
Полутвердая			0,6	2,1	23	0,4	2,00		0,15
Тугопластичная.....	2,10	20	0,4	2,0	21	0,25	1,95		0,10
Мягкопластичная....	2,00	18	0,2	1,9	17	0,15	1,90		0,05
Пластичная.....	1,95	14	0,1	1,85	13	0,10	1,85		0,02
Текучая.		86	0,05	1,8	10	0,05	1,80		0,01

На процесс взаимодействия рабочих органов землеройных машин с грунтом оказывает влияние сопротивление внешнему трению, количественно оцениваемое величиной коэффициента трения μ . Коэффициент трения между рабочим органом и грунтом с ненарушенной структурой и нарушенной с увеличением давления изменяется по-разному: в первом случае он увеличивается, а во втором уменьшается. При производстве земляных работ в строительстве и в горном деле используется ряд производственных классификаций грунтов по трудности разработки. А. Н. Зеленин предложил классифицировать грунты по числу ударов s плотномера ДорНИИ.

Рассмотренные физико-механические характеристики грунтов и их количественные значения используются для объективной оценки трудности разработки грунтов землеройными машинами, обоснования параметров вновь создаваемых машин и определения производительности машин, работающих в различных грунтовых условиях. Применительно к машинам для земляных работ в дальнейшем будут использованы следующие определения и физико-механические свойства грунтов.

Грунтами называют выветрившиеся горные породы, образующие кору земли. По происхождению, состоянию и механической прочности различают грунты: **скальные** – цементированные водоустойчивые породы с пределом прочности в водонасыщенном состоянии не менее 5 МПа (граниты, песчаники, известняки и т. п.); **полускальные** – цементированные горные породы с пределом прочности до 5 МПа (мергели, окаменевшие глины, гипсоносные конгломераты и т. п.); **крупнообломочные** – куски скальных и полускальных пород; **песчаные** – состоящие из нецементированных мелких частиц, разрушенных горных пород размером $0,05 \div 2$ мм; **глинистые** – с размером частиц менее 0,005 мм.

По гранулометрическому составу, оцениваемому долевым содержанием фракций по массе, различают грунты: **глинистые** (с размерами частиц менее 0,005 мм), **пылеватые** ($0,005 \div 0,05$ мм), **песчаные** ($0,05 \div 2$ мм), **гравийные** ($2 \div 20$ мм), **галечные и щебеночные** ($20 \div 200$ мм), **валуны и камни** (более 200 мм). Наиболее часто встречающиеся в строительной практике грунты различают по процентному содержанию в них глинистых частиц: **глины** – не менее 30 %; **суглинки** – от 10 до 30 %; **супеси** – от 3 до 10 % с преобладанием песчаных частиц над пылевидными, **пески** – менее 3 %.

Ниже приводятся некоторые характеристики грунтов, влияющие на процесс их взаимодействия с землеройными и грунтоуплотняющими рабочими органами. Грунт состоит из твердых частиц, воды и газов (обычно воздуха), находящихся в его порах. **Влажность** грунтов, оцениваемая отношением массы воды к массе твердых частиц, составляет от 1 – 2 % – для сухих песков, до 20 % и более – для текучих глин и илов. В некоторых случаях, например, при оценке степени принудительного уплотнения грунтов, пользуются так называемой **оптимальной влажностью**, которая изменяется от $8 \div 14$ % для мелких и пылеватых песков до $20 \div 30$ % для жирных глин.

При разработке грунты увеличиваются в объеме за счет образования пустот между кусками. Степень такого увеличения объема оценивают **коэффициентом разрыхления**, равным отношению объема определенной массы грунта после разработки к ее объему до разработки (табл. 2.1). Значения

коэффициента разрыхления колеблются от $1,08 \div 1,15$ для песков, до $1,45 \div 1,6$ для мерзлых грунтов и скальных пород. После укладки грунта в отвалы и естественного или принудительного уплотнения степень их разрыхления уменьшается. Ее оценивают **коэффициентом остаточного разрыхления** (от $1,02 \div 1,05$ для песков и суглинков, до $1,2 \div 1,3$ для скальных пород).

Уплотняемость грунтов характеризуется увеличением их плотности вследствие вытеснения из пор воды и воздуха и компактной укладки твердых частиц. После снятия внешней нагрузки сжатый в порах воздух расширяется, вызывая обратимую деформацию грунта. При повторных нагружениях из пор удаляется все больше воздуха, вследствие чего обратимые деформации уменьшаются. Степень уплотнения грунта характеризуется остаточной деформацией, основная доля которой приходится на первые циклы нагружения. Ее оценивают **коэффициентом уплотнения**, равным отношению фактической плотности к ее максимальному стандартному значению, соответствующему оптимальной влажности. При уплотнении грунтов требуемый коэффициент уплотнения назначают в зависимости от ответственности земляного сооружения из пределов от 0,9 до 1.

Прочность и деформируемость грунтов определяется, в основном, свойствами слагающих их частиц и связей между ними. Прочность частиц обусловлена внутримолекулярными силами, а прочность связей – их сцеплением. При разработке грунтов эти связи разрушаются, а при уплотнении восстанавливаются.

При взаимном перемещении частиц грунта между собой возникают силы внутреннего трения, а при перемещении грунта относительно рабочих органов – силы внешнего трения. Согласно закону Кулона эти силы пропорциональны нормальной нагрузке с коэффициентами пропорциональности, называемыми **коэффициентами внутреннего и внешнего трения** соответственно. Для большинства глинистых и песчаных грунтов первый составляет от 0,18 до 0,7, а второй – от 0,15 до 0,55.

При взаимном перемещении грунта и землеройного рабочего органа происходит царапание твердыми грунтовыми частицами рабочих поверхностей режущего инструмента и

других элементов рабочего органа и, как следствие, изменение его формы и размеров, называемое **изнашиванием**.

Разработка грунтов изношенным режущим инструментом требует больше затрат энергии.

Способность грунтов изнашивать рабочие органы землеройных машин называют **абразивностью**. Большой абразивностью обладают более твердые грунты (песчаные и супесчаные) с частицами, закрепленными (сцементированными) в грунтовом, например, замерзшем массиве. Абразивная изнашивающая способность мерзлых грунтов в зависимости от их температуры, влажности и гранулометрического состава может быть в десятки раз выше, чем у тех же грунтов немерзлого состояния.

Грунты, содержащие глинистые частицы, способны прилипать к рабочим поверхностям рабочих органов, например, ковшовым, уменьшая тем самым их рабочий объем и создавая повышенные сопротивления перемещению отделенного от массива грунта внутрь ковша, вследствие чего увеличиваются затраты энергии на разработку грунта и снижается производительность землеройной машины. Это свойство грунтов, называемое липкостью, усиливается при отрицательных температурах.

Силы сцепления примерзшего к рабочим органам грунта в десятки и сотни раз больше, чем грунта немерзлого состояния. Для удаления прилипшего к рабочим органам грунта приходится делать вынужденные простои машины, а в ряде случаев, например, для очистки от примерзшего грунта, принимать специальные меры, в основном, механического воздействия.

Грунты, разрабатываемые машинами, классифицируют по трудности разработки по 8 категориям (табл. 2.2). В основу этой классификации, предложенной проф. А. Н. Зелениным, положена плотность в физическом измерении (кг/м^3) и по показаниям плотномера конструкции ДорНИИ.

2.2. Характеристики грунтов по трудоемкости разработки

Таблица 2.2

Характеристики грунтов

Категория грунта	Плотность грунта, т/м ³	Число ударов плотномера ДорНИИ	Кoeffициент разрыхления	Удельное сопротивление, кПа					
				резанно	копанию при работе:				
					прямыми и обратными лопатами	драглайном	Экскаваторами непрерывного действия		
							поперечного копания		
							ротонным	цепным	траншейными
I	1200-1500	1-4	1,08-1,17	12-65	18-80	30-120	40-130	50-180	70-230
II	1400-1900	5-8	1,14-1,28	58-130	70-180	120-250	120-250	150-300	210-400
III	1600-2000	9-16	1,24-1,3	120-200	160-280	220-400	200-380	240-450	380-660
IV	1900-2200	17-35	1,26-1,37	180-300	220-400	280-490	300-550	370-650	650-800
V	2200-2500	36-70	1,3-1,42	280-500	330-650	400-750	520-760	580-850	700-1200
VI	2200-2600	71-140	1,4-1,45	400-800	450-950	550-1000	700-1200	750-1500	1000-2200
VII	2300-2600	141-280	1,4-1,45	1000-3500	1200-4000	1400-4500	1800-5000	2200-5500	2000-6000
VIII	2500-2800	281-560	1,4-1,6	-	220-250	230-310	-	-	-

Плотномер представляет собой металлический стержень круглого поперечного сечения площадью 1 см² с двумя шайбами-упорами, между которыми свободно перемещается груз массой 2,5 кг. Полный ход груза составляет 0,4 м. Длина нижнего свободного конца стержня – 0,1 м. Для измерения плотности прибор нижним концом устанавливают на грунт, поднимают груз до упора в верхнюю шайбу и отпускают его. При падении груз ударяет о нижнюю шайбу, совершая работу в 1 Дж и заставляя внедряться в грунт нижний конец стержня. Плотность грунта оценивают числом ударов, соответствующим внедрению в грунт стержня до упора в нижнюю шайбу.

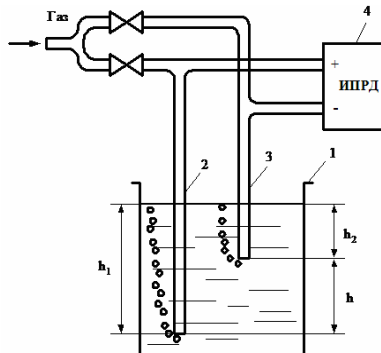


Рис. 3. Гидравлический плотномер

Согласно классификации проф. А. Н. Зеленина грунты распределены по категориям следующим образом: I категория – песок, супесь, мягкий суглинок средней крепости влажный и разрыхленный без включений; II категория – суглинок без включений, мелкий и средний гравий, мягкая влажная или разрыхленная глина; III категория – крепкий суглинок, глина средней крепости влажная или разрыхленная, аргиллиты и алевролиты; IV категория – крепкий суглинок, крепкая и очень крепкая влажная глина, сланцы, конгломераты; V категория – сланцы, конгломераты, отвердевшие глина и лесс, очень крепкие мел, гипс, песчаники, мягкие известняки, скальные и мерзлые породы; VI категория – ракушечники и конгломераты, крепкие сланцы, известняки, песчаники средней крепости, мел, гипс, очень крепкие опоки и мергель; VII категория – известняки, мерзлый грунт средней крепости; VIII категория – скальные и мерзлые породы, очень хорошо взорванные (куски не более $\frac{1}{3}$ ширины ковша).

3. МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Машины и механизмы для выполнения земляных работ используются при разрыхлении плотных, скальных и мерзлых грунтов, планирования строительных площадок, подготовке оснований под дороги и проезды, разработке котлованов под фундаменты зданий и сооружений, рытье траншей открытым способом при прокладке городских коммуникаций и строительстве подземных сооружений, копании ям и приямков, зачистке дна и откосов земляных сооружений, обратной засыпке котлованов и траншей после возведения фундаментов и укладке коммуникаций, уплотнение фунтов и т. п.

3.1. Классификация машин для земляных работ

Классификация машин на группы производится в зависимости от вида выполняемых работ:

- 1) машины для подготовительных работ;
- 2) землеройно-транспортные машины;
- 3) экскаваторы;
- 4) машины для уплотнения грунта;
- 5) машины и оборудования для гидромеханизации земляных работ;
- 6) машины для буровых работ.

3.1.1. Конструктивные решения и область применения

Машины для подготовительных работ:

- валочно-трелевочные машины;
- цепные бензомоторные пилы;
- корчеватели пней – собиратели и погрузчики;
- кусторезы;
- плунжерные каналокопатели;
- бульдозеры-рыхлители;
- установка фрезерная для послойного рыхления;
- баровые машины (одно- и двухбаровая);

- дискофрезерная машина;
- гидромолоты;
- бурильные установки (ямобуры и бурильно-крановые машины, оборудованные отвалом, грузоподъемностью 1–3 т) и т. д.

3.1.2. Машины землеройно-транспортные:

- бульдозеры (40 % общего объема земляных работ);
- скреперы (10 % общего объема земляных работ);
- грейдеры и грейдеры-элеваторы (до 1–2 % общего объема земляных работ);

3.1.3. Машины землеройные (циклического и непрерывного действия):

- одноковшовые экскаваторы (прямая лопата, обратная лопата);
- драглайн;
- грейфер (на жесткой и тросовой подвеске);
- экскаватор планировщик,
- многоковшовые экскаваторы: траншейные (роторные и цепные); роторные стреловые-карьерные; цепные-поперечного копания.

3.1.4. Специальные машины:

- гидромеханизированная разработка грунта (гидромониторы, земснаряды);
- горизонтально-буровая установка;
- установка для прокалывания и продавливания;
- водоотливные;
- грязенасосные;
- водопонижающие (иглофильтры, глубинные насосы-скважины) установки;
- баровые установки на базе колесных и гусеничных тракторов.

3.1.5. Грунтоуплотняющие машины-катки:

а) статические и с вибропригрузом;

б) самоходные и прицепные;

в) с гладким, рельефным, кулачковыми вальцами;

г) трамбовочные машины: трамбующие плиты на базе трактора (толщина уплотнения до 1–2 м); трамбующие плиты на базе экскаватора (толщина уплотнения до 2–3 м); ручные электрические и пневматические трамбовочные устройства (толщина уплотнения до 0,3 м); виброплиты (толщина уплотнения 0,3–1,2 м), самоходные; реверсивные; автономные – от двигателя внутреннего сгорания с электродвигателем; навешиваемые и самоходные).

К техническим средствам автоматизации строительно-дорожных машин относятся: контрольно-информационные, регулирующие устройства, защищающие от аварии; локальные системы управления.

К общим, контрольно-информационным средствам автоматизации машин и механизмов, предназначенных для выполнения земляных работ, относятся:

- количество пройденного пути;
- скорость движения;
- температура охлаждающей жидкости;
- наличие топлива в баках;
- давление в системе тормозов;
- давление масла;
- объем жидкости в гидросистеме;
- указатель сигнала поворота;
- прерыватель в сигналах поворота;
- загорание подфарников при заднем ходе;
- загорание подфарников при торможении и т. д.

К общим, регулирующим средствам автоматизации машин и механизмов, предназначенных для выполнения земляных работ, относятся:

- стабилизатор отката;
- ограничитель глубины копания;
- ограничитель поворота рабочего органа;

- блокировка рабочей части при не установленных выносных опорах;
- блокировка рабочей части при отсутствии заземления (для пневмоколесных машин);
- и т. д.

Общими, защищающими от аварии средствами автоматизации машин и механизмов, предназначенных для земляных работ, являются:

- отключение двигателя при превышении допустимого отклонения от вертикали;
- защита электропривода от короткого замыкания,
- защита двигателя от аварийного заклинивания.

Автоматизация землеройных машин позволяет освободить машиниста от части операций по управлению машиной, что облегчает его труд, повышает производительность труда и качество работ. Машины, у которых часть функций управления выполняют автоматические устройства, называются автоматизированными машинами.

Робот – это автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций.

Информационные и управляющие робототехнические системы представляют собой некоторые комплексы измерительно-информационных и управляющих средств, автоматически производящих сбор, обработку, передачу информацию, а также использование ее для формирования различных управляющих сигналов.

3.2. Рабочие органы землеройных машин и их взаимодействие с грунтом

Рабочие органы, с помощью которых грунт отделяют от массива (экскаваторные ковши, бульдозерные отвалы, зубья рыхлителей) (рис. 3.1) называют *землеройными*. В конструкциях землеройных и землеройно-транспортных машин, рабочий

процесс которых состоит из последовательно выполняемых операций отделения грунта от массива, его перемещения и отсыпки, землеройные рабочие органы совмещают с транспортирующими – ковшами (экскаваторы, скреперы) или отвалами (бульдозеры, автогрейдеры). Первые называют *ковшовыми*, а вторые – *отвальными*. Зубья рыхлителей (рис. 3.1, а) отделяют грунт от массива без совмещения с другими операциями. Отвальные рабочие органы (рис. 3.1, д, ж, и). Ковшовый рабочий орган представляет собой емкость с режущей кромкой, оснащенной зубьями (рис. 3.1, б, з, э) или без них, грейферный ковш (рис. 3.1 е).

Ковши с режущими кромками без зубьев чаще применяют для разработки малосвязных песков и супесей, а ковши с зубьями – в основном для разработки суглинков, глин и прочных грунтов. При разработке грунта ковш перемещается относительно грунтового массива так, что его режущая кромка или зубья внедряются в грунт, отделяя его от массива. Разрыхленный вследствие этой операции грунт поступает в ковш для последующего перемещения его к месту разгрузки.

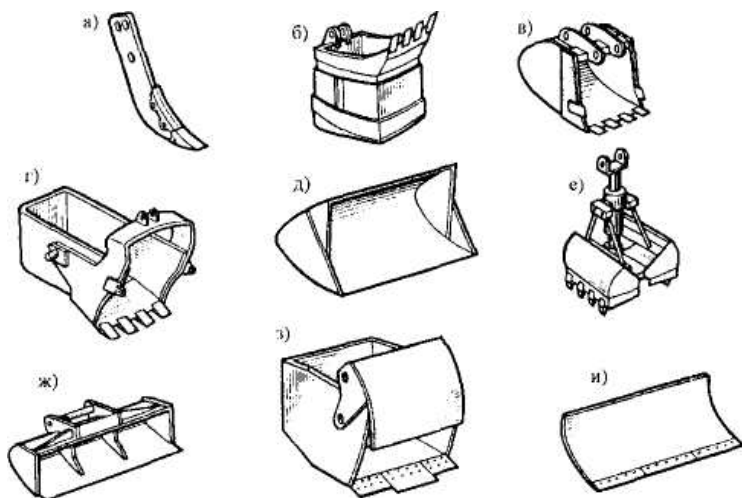


Рис. 3.1. Рабочие органы машин для разработки грунтов

Отвальные рабочие органы (рис. 3.1, и) оснащают в нижней части ножами, в этом случае их еще называют *ножевыми*. Для разрушения более прочных грунтов на ножи дополнительно устанавливают зубья. Рабочий процесс отвального рабочего органа отличается от описанного выше способом перемещения грунта к месту укладки – волоком по ненарушенному грунту перед отвалом.

Режущая часть землеройного рабочего органа имеет форму заостренного клина (рис. 3.2), ограниченного передней и задней 2 гранями, линию пересечения которых называют *режущей кромкой*. Угол δ , образованный с направлением движения режущего клина его передней гранью, называют *углом резания*, а угол θ , образованный с тем же направлением задней гранью – *задним углом*. Разрушающая способность режущего клина тем больше, чем больше реализуемого рабочим органом активного усилия приходится на единицу длины режущей кромки. При одном и том же усилии узкий режущий клин эффективнее широкого.

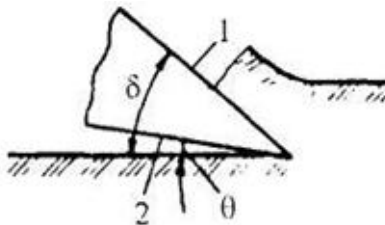


Рис. 3.2. Параметры режущего клина. Параметры резания:
 δ – угол резания; θ – задний угол реза; 1 – передняя грань;
2 – нижняя грань

Поскольку суммарная длина режущих кромок всех зубьев, установленных на ковше или отвале, всегда меньше длины кромки того же рабочего органа без зубьев, то рабочий орган с зубьями обладает большей разрушающей способностью по сравнению с рабочим органом без зубьев. Чем меньше на рабочем органе зубьев, тем больше его разрушающая способность.

В процессе взаимодействия с грунтом, обладающим абразивными свойствами, режущий клин затупляется, его

режущая кромка становится все менее выраженной, а энергоемкость разработки им грунта возрастает.

Для повышения износостойкости режущих инструментов землеройных рабочих органов переднюю грань упрочняют твердым сплавом в виде наплавки износостойкими электродами или напаяк из металлокерамических твердосплавных пластин (рис. 3.3). Последние более эффективны по сравнению с наплавками. Они обладают высокой твердостью, соизмеримой с твердостью оксидов кремния, содержащихся в песчаных грунтах, но подвержены хрупкому разрушению при встрече с валунами.

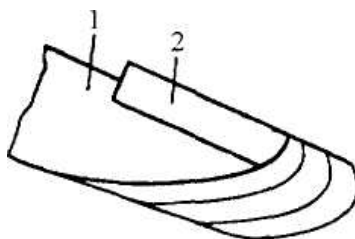


Рис. 3.3. Схема самозатачивания землеройного режущего инструмента, упрочненного по передней грани: 1 – державка; 2 – упрочняющая пластинка

Упрочненный передней гранью режущий инструмент обладает эффектом *самозатачивания*, который проявляется в том, что державка 1, имеющая более низкую твердость по сравнению с упрочняющим слоем (пластинкой) 2, изнашивается быстрее последнего (формы износа показаны на рис. 3.3 тонкими линиями), так что режущий инструмент во все время работы остается практически острым с затуплением лишь по толщине упрочняющего слоя. Такой режущий инструмент обеспечивает менее энергоемкую разработку грунта, чем неупрочненный.

Реализуемые режущим клином усилия на отделение грунта от массива (*усилия резания*) почти стабильны при разработке пластичных глинистых грунтов. Во всех других случаях усилия резания изменяются от минимальных значений до

максимальных с определенным периодом. Амплитуда этих колебаний возрастает по мере увеличения прочности и хрупкости грунтов. Процессу резания сопутствует перемещение грунта перед рабочим органом, внутри его (при ковшовом рабочем органе) или по нему (при отвальном органе). Совокупность этих перемещений вместе с резанием называют *копанием* [10].

Усилие P , с которым режущий клин воздействует на грунт (рис. 3.4) называют *усилием копания*, а равное ему по модулю, но противоположно направленное усилие P_o – *сопротивлением грунта копанию*. Каждое из этих усилий может быть разложено по трем взаимно перпендикулярным направлениям – вдоль (касательно) траектории движения режущей кромки (соответственно P_1 и P_{01}), нормально к этой траектории в плоскости движения (P_2 и P_{02}), и нормально из этой плоскости (P_3 и P_{03}).

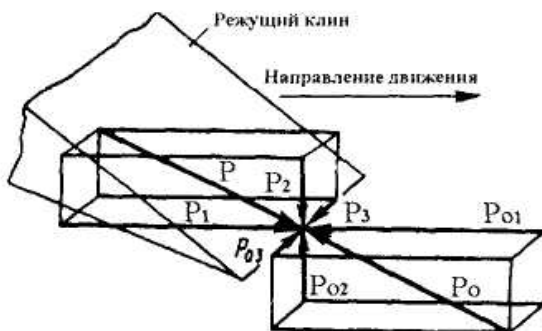


Рис. 3.4. Схема силового взаимодействия землеройного режущего инструмента с грунтом

Усилия первой пары называют касательными составляющими силы копания (сопротивления грунта копанию), вторые – нормальными составляющими тех же сил (сопротивлений), третьи – боковыми составляющими. Последние обычно имеют место в случае косоустановленной режущей кромки, например, при косоустановленном (в плане) бульдозерном отвале для выполнения им планировочных работ.

Одним из наиболее распространенных методов расчета сил сопротивления грунта копанию является метод Н. Г. Домбровского – В. П. Горячкина, согласно которому касательная составляющая этого сопротивления (кН) принимается пропорциональной площади поперечного сечения грунтового среза (*стружки*):

$$P_{01} = k_1 bc, \text{ кН}, \quad (3.1)$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности, называемый *удельным сопротивлением грунта копанию*, кПа; b и c – ширина и толщина стружки, м.

Согласно этому методу нормальную составляющую сопротивления грунта копанию определяют в долях от P_{01} :

$$P_{02} = k P_{01}. \quad (3.2)$$

Коэффициент пропорциональности k зависит от прочности и однородности разрабатываемого грунта, заднего угла и степени затупления режущего инструмента, размеров и формы его износа. При заднем угле не менее $5\div 8^\circ$ для однородных грунтов III-IV категорий при режущих кромках средней затупленности $k \approx 0,15\div 0,3$. Для более прочных неоднородных полускальных и мерзлых грунтов $k \approx 0,3\div 0,6$.

Большую долю в составе сопротивления грунта копанию (для грунтов, рарабатываемых землеройными рабочими органами без предварительного разрыхления – более 80 %) составляет сопротивление грунта резанию, которое соответственно изложенной методике определяется как

$$P_p = k'_1 bc, \quad (3.3)$$

где k'_1 – *удельное сопротивление грунта резанию*, кПа.

Другими составляющими сопротивления грунта копанию являются сила трения между рабочим органом и грунтом, сопротивление перемещению призмы грунта перед рабочим органом (призмы волочения) и сопротивление перемещению грунта в ковш (при ковшовом рабочем органе) или по отвалу (при отвальном рабочем органе) [11–13].

Сопротивление грунта резанию зависит только от вида грунта и параметров режущего инструмента, в то время как сопротивление копанию, кроме того, зависит от способа разработки (типа землеройной машины).

3.3. Общая классификация машин и оборудования для разработки грунтов

Машины и оборудование для разработки грунтов классифицируют по назначению – землеройные, землеройно-транспортные, бурильные, оборудование гидромеханизации.

Землеройные машины разрабатывают грунт либо позиционно (одноковшовые экскаваторы и роторные экскаваторы поперечного копания), либо в процессе перемещения всей машины (экскаваторы непрерывного действия, кроме указанных выше роторных). Разработанный грунт либо укладывается в отвал рядом с открытой выемкой или карьером, либо погружается в транспортные средства для его перевозки.

Землеройно-транспортные машины (бульдозеры, скреперы) работают в двух следующих друг за другом режимах – землеройном и транспортном. Сначала машина в процессе своего перемещения разрабатывает грунт, накапливая его перед отвалом (бульдозер) или заполняя им ковш (скрепер), а затем перемещает его волоком по земле – в случае отвала или в ковше, подобно транспортной машине. Отвальные землеройно-транспортные машины (бульдозеры, автогрейдеры), занятые на планировке земляных поверхностей, работают в режиме землеройной машины непрерывного действия - снимаемый слой грунта непрерывно перемещается по отвалу и укладывается рядом с полосой планировки. В таком же режиме работают землеройно-транспортные машины, называемые *грейдер-элеваторами* – разработанный ими грунт либо погружается специальным транспортирующим органом в транспортные средства, либо укладывается рядом с полосой разработки.

Бурильные машины предназначены для бурения скважин, включая шпуров. Обычно это машины позиционного действия, что определяется позиционностью скважины.

Средства гидромеханизации предназначены для разработки грунтов с использованием скоростного напора струи воды или водяного потока. Они представляются как машинами, так и аппаратами, не имеющими машинного привода.

По характеру рабочего процесса только одноковшовые экскаваторы и скреперы являются машинами циклического

действия. Экскаваторы же непрерывного действия, автогрейдеры, грейдер-элеваторы и оборудование гидромеханизации работают в непрерывном режиме. Бульдозеры могут работать как в цикличном (при послойной разработке грунтов), так и в непрерывном (на планировочных работах) режимах.

Землеройные машины, называемые *экскаваторами*, могут быть оборудованы одним ковшом (одноковшовые экскаваторы) или несколькими ковшами или заменяющими их рабочими органами – скребками, комбинированными органами для раздельного отделения грунта от массива и выноса его к месту отсыпки, зубьями (без ковшей) и т. п., закрепленными на рабочем колесе (роторе) или на замкнутой рабочей цепи (экскаваторы непрерывного действия). Каждый рабочий орган, как и в случае одноковшового экскаватора, работает в цикличном режиме, но со сдвигом во времени выполнения одноименных операций различными рабочими органами, вследствие чего грунт отсыпается непрерывным потоком.

По сравнению с одноковшовыми экскаваторами экскаваторы непрерывного действия имеют меньшие материалоемкость и энергоемкость, приходящиеся на единицу их технической производительности, что обусловлено более равномерным нагружением этих машин во времени. В то же время экскаваторы непрерывного действия имеют более низкий коэффициент использования во времени из-за более частых отказов многозвенной структуры этих машин. Являясь специальными землеройными машинами, экскаваторы непрерывного действия имеют узкую область применения по сравнению с одноковшовыми экскаваторами.

Механические погрузчики (рис. 3.5) – это самоходные машины на колесном или гусеничном ходу с приводом от электродвигателя и питанием от аккумуляторной батареи или от внешней сети по гибкому кабелю или с приводом от двигателя внутреннего сгорания (карбюраторного или дизеля), позволяющие циклично перемещать груз в результате перемещения самого погрузчика и его рабочих органов [14]. В зависимости от источника энергии питания привода погрузчики разделяются на электропозрузчики и автопозрузчики, а по конструкции основного рабочего органа – на вилочные и ковшовые. У вилочных погрузчиков основным рабочим органом

являются вилы, а у ковшовых – ковш. В качестве сменных грузозахватных устройств могут использоваться стрелы, грейферы, различные механические захваты. Использование сменного рабочего оборудования подвижным (выдвижным) с неповоротным грузоподъемником относительно продольной оси погрузчика или смещаемым вдоль оси переднего моста погрузчика.

Одноковшовые погрузчики разделяются на фронтальные с передним зачерпыванием и передней разгрузкой ковша, полуповоротные с передним зачерпыванием и боковой разгрузкой ковша и тракторные лопаты с передним зачерпыванием и задней разгрузкой ковша путем подъема и переноса его через трактор, на котором смонтирован ковш. По назначению погрузчики бывают: универсальные (для работы с различными грузами); специальные (для перегрузки и транспортирования длинномерных грузов, крупногабаритных, для работы в трюмах судов, загрузки и выгрузки в контейнеры, штабелирование на большую высоту, транспортирование). Некоторые модели мини-экскаваторов способны эффективно и быстро выполнять следующие работы: в комплектации с отбойным молотком применяться для разрушения старых зданий и сооружений; в комплектации с обычным или двустворчатым ковшом – для многопрофильных земляных и погрузочных работ; в комплектации с управляемым вращающимся ковшом – для работ в саду, мелиоративных и лесопосадочных работ.



Рис. 3.5. Мини-погрузчик

Есть модели мини-экскаваторов, которые оснащаются дополнительным навесным оборудованием: ковш, планирующий ковш, двустворчатый ковш, бур, которые повышают универсальность погрузчика. Вилочные погрузчики в зависимости от расположения рабочего органа грузоподъемника и способа выполнения перегрузочных операций разделяются на фронтальные с передним расположением рабочего органа и боковые с расположением рабочего органа сбоку, а по устройству – с неподвижным грузоподъемником относительно корпуса погрузчика. Почти все компании, производящие строительные машины, сегодня выпускают ту или иную мини-технику. А некоторые производители анонсируют в масштабных планах развития этого сегмента оборудования. Целью Компания Case – стать ведущим европейским поставщиком малогабаритного оборудования. И этот план она осуществляет с 2003 г., благодаря образованной в 1999 г. фирме CNH, возникшей в результате слияния компаний Case и New Holland. В результате, новоявленная компания сразу стала третьим по величине производителем строительного оборудования в мире. Пока Case не может похвастаться большим разнообразием моделей мини-экскаваторов. Однако к середине 2003 г. компания обзавелась достойным модельным рядом мини экскаваторов из семи машин массой от 1450 до 4520 кг, оснащенных двигателями 13,5 – 30,6 кВт. Глубина копания этих механизмов от 2360 до 3800 мм. У экскаваторов Case есть свои достоинства. Например, гусеничный ход с изменяемой колеей. При работе в стесненных условиях это очень удобно. Наличие двух скоростей вращения поворотной платформы и уменьшенный радиус ее движения также создают при работе дополнительные удобства. [15, 18]. С различным навесным оборудованием мини-экскаватор значительно расширяет свои функциональные возможности.

Производством мини-экскаваторов занялся и такой гигант строительной техники, как американская компания Caterpillar [17, 18], создавшая новую производственную линию с нуля. Ведь до недавнего времени этот производитель специализировался на выпуске больших механизмов, а данным решением сделал очередной шаг по дальнейшему укреплению своих позиций. Исследуя современный рынок землеройной

техники, специалисты компании Caterpillar обнаружили, что за последние 10 лет ежегодный прирост продаж мини-экскаваторов составляет примерно 11 %. Вот на чем было основано решение о создании нового производства.

Мини-экскаваторы Caterpillar создаются на базе нового отделения Building Construction Products, базирующегося в Клейтоне, штат Северная Каролина. Сейчас выпускаются четыре модели гидравлических мини-экскаваторов, различные погрузчики и большое количество сменного рабочего оборудования. При разработке новых машин самой значительной новацией является принципиально новая система охлаждения двигателей.

Первые сорок лет с момента создания компании JCB (Великобритания) ее продукция была большой, массивной, мощной, производительной. Только в 1989 г. руководство компании решило включить в свой – и без того широкий ассортимент – мини-технику. Модели получились настолько маленькими, что их можно перевозить на прицепе легкового автомобиля. Первым был выпущен мини-экскаватор модели 801. Его успех на рынке землеройной техники превзошел все ожидания. С тех пор английская компания ежегодно увеличивает объемы производства мини-техники.

Еще одно преимущество мини-экскаватора – никаких проблем с транспортировкой.

Сегодня в серию мини-экскаваторов JCB входят модели: 8015, 8015-2, 8016, 8017, 8018, 802 Super, 803 Plus&Super, 804 Super, 8052. Самый маленький из них – JCB 8016. А недавно JCB вовсе начала производить игрушечные экскаваторы и тракторы. Менеджеры говорят, что хотят с детства приучать будущих строителей к своей технике [17].

Достаточно сильную позицию в сфере производства мини-экскаваторов заняла шведская компания Volvo. Несколько лет назад она приобрела французскую фирму Pel-job Group, а спустя некоторое время прикупила и немецкую компанию Zettelmeyer. Среди других крупных производителей, прежде всего, следует упомянуть Melroe (торговая марка Bobcat) – дочернее предприятие американской компании Ingersoll-Rand и фирму Kubota (Япония). Оба эти предприятия занимают сильные

позиции в производстве мини-экскаваторов. В список крупнейших можно также занести известных производителей строительного оборудования, две немецкие компании – Gehl и O&K, две японские – Komatsu и Kobe Steel Limited (торговая марка Kobelco) и южно-корейскую Daewoo. Все они включили мини-экскаваторы в номенклатуру своей продукции, каждый изготовитель, стремится сделать этот сегмент оборудования более привлекательным, активно совершенствует конструкцию своих механизмов за счет улучшения технических характеристик и дизайна. Разработчики также расширяют номенклатуру сменных рабочих органов, повышают уровень комфорта оператора в кабине, всячески стремясь облегчить условия его труда и безопасности при производстве работ [16, 18].

Некоторые мини-экскаваторы оснащены гусеничным ходом с изменяемой колесей. Такое техническое решение позволяет машине проезжать в обычные дверные проемы.

Кинематическая схема мини-погрузчика приведена на рис. 3.8.

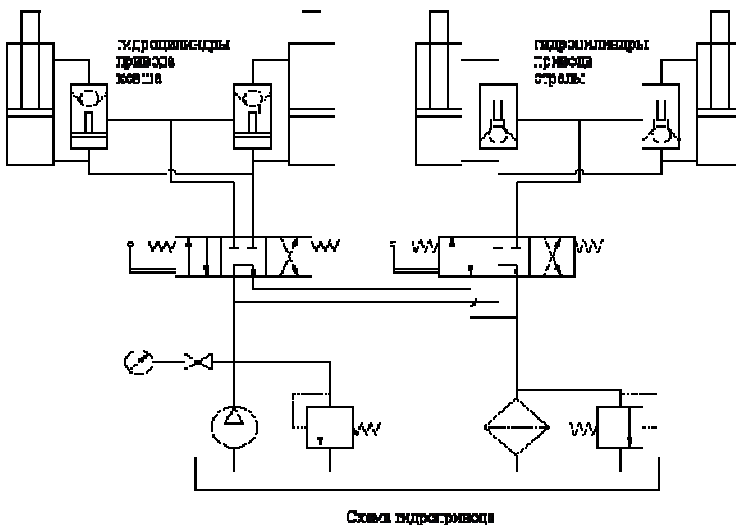


Рис. 3.8. Кинематическая схема гидросистемы

Специалисты признают, что сегодня на рынке мини-экскаваторов лидируют японские компании. Первый универсальный экскаватор-планировщик Komatsu появился еще в 1970 г. За последующие годы выпущено 57 моделей миниатюрных дорожно-строительных машин. Все разработки появлялись в соответствии с запросами рынка. Так же возникла и серия мини-экскаваторов. Ширина этих «малюток» не превышает 800 мм, а высота – 1500 мм, такая машина способна проехать практически в любую дверь здания. При полном повороте ни одна часть корпуса не выходит за первоначальные габариты, то есть механизм можно поставить в узком проходе, и свободно работать, не опасаясь ударов о стенку.

Среди больших механизмов Caterpillar эти «малыши» с большими возможностями, конструкция отличается от распространенной системы со средним положением гидромотора и отдельными цепными приводами на каждое колесо. Серьезным преимуществом ковшового погрузчика может быть система автоматического выравнивания ковша, как, например, у мини-погрузчика Locust. Чаще всего оптимальный набор дополнительных навесных агрегатов состоит из роторного снегоочистителя, щеток для подметания и уборки территории, вил для работы с паллетами, ящиками и их штабелирования, двухчелюстного ковша с зубьями. Последний вид навесного оборудования наиболее универсален – с помощью него можно не только планировать поверхности, а также в положении частичного раскрытия можно дозированно рассыпать содержимое ковша в движении, будь то противогололедные реагенты или просто песок на стройплощадке. С помощью двухчелюстного ковша можно быстро убрать строительный мусор, перевезти длинные бревна и др. А у мини-погрузчиков Locust имеется система LUDV, которая регулирует мощность двигателя в зависимости от нагрузки, в т. ч. и на гидросистему [17, 18]. Система LUDV позволяет существенно экономить топливо. Мини-погрузчики с бортовым поворотом, которые могут развернуться в пределах собственных габаритов, при работе на грунтовых площадках разбивают их до такой степени, что на изначально ровной поверхности через некоторое время погрузчик начинает буксовать, застревать в грязи. Приходится терять время на очистку площадки от

«перепаханного» грунта. Причина в том, что при повороте колеса левого и правого борта могут вращаться в противоположных направлениях. Именно из-за этой конструктивной особенности по-английски такой тип техники называется skid-steer loader, или погрузчик с управляемым скольжением, т. е. пробуксовкой. Колеса проскальзывают, зарываясь при этом в грунт. Ситуация осложняется из-за малого дорожного просвета, характерного для мини-погрузчиков этого типа. Чтобы повысить их проходимость, приходится применять колеса большего диаметра. Это определенно учли словацкие конструкторы при разработке погрузчиков Locust, хорошая проходимость которых – это преимущество, тем более в казахстанских условиях.

На грунтах с очень низкой несущей способностью используются мини-погрузчики на гусеничном ходу. Они несколько меньше разбивают грунтовые площадки, но это машины высокой проходимости. На практике операторы определяют проходимость гусеничного погрузчика часто так: если человек при движении по местности не проваливается глубже, чем по колено, значит, и погрузчик пройдет.

Одним из основных недостатков гусеничного погрузчика является низкая скорость, поэтому шарнирно-сочлененные мини-погрузчики, имеющие дорожный просвет минимум на 50 % больший, чем у колесных мини-погрузчиков с бортовым поворотом, обладающие хорошей проходимостью, а также высокой скоростью и маневренностью, значительно больше распространены в Европе, Японии, странах Америки, чем у нас. Не следует забывать и о таком аспекте, как устойчивость. Важное значение имеет расположение центра тяжести. Низкая устойчивость создает помимо опасности опрокидывания неуверенность и нервозность в работе оператора, который все время ожидает «подвоха» от машины. В этом смысле более неблагоприятны погрузчики с бортовым поворотом. Короткая база этих машин характеризуется невысокой устойчивостью, особенно на уклоне. Не случайно ведущие производители мини-погрузчиков, например концерн Ammann–Yanmar, принимают за один из основных конструкторских приоритетов в своих разработках низкое положение центра тяжести. Впрочем, этот недостаток – короткая база – компенсируется минимальным

расстоянием по горизонтали от передней части машины до места выгрузки (dumping clearance) и тем что линия движения ковша при подъеме практически вертикальна, а это особенно ценно в стесненных условиях.

В конструкциях мини-погрузчиков компании Kramer-Allrad учтено то, что при использовании цельного шасси центр тяжести никогда не отклоняется от оси. Это гарантирует перемещение центра тяжести вдоль продольной оси при транспортировке любых грузов. Риск опрокидывания погрузчика или падения груза, даже при резких поворотах руля, снижается практически до нуля, так как центр тяжести не выходит за пределы погрузчика. Размеры мини-погрузчика часто имеют первостепенное значение при работе в ограниченном пространстве. В этой связи отмечу следующее. Можно выбрать погрузчик с открытым всем ветрам рабочим местом, где у оператора есть лишь навес от дождя и стойки, защищающие от ударов достаточно крупными предметами либо от травм в случае опрокидывания машины. И логичнее, казалось, приобрести более подходящую нашему климату комплектацию с современной кабиной. Но вопрос не так однозначен, как кажется.

Если верить зарубежной статистике третья часть всех работ в строительстве, на производстве и в некоторых других сферах деятельности выполняется вручную. Для Казахстана эти данные не верны, так как здесь доля ручного труда примерно равна 50 %. Возможно, поэтому в последние годы так велик интерес к малогабаритной технике, которая в некоторых случаях столь же незаменима, как и крупногабаритное оборудование.

Фирма Melroe, прежде всего, известна своими мини-погрузчиками Bobcat. Однако есть у него и другая, не менее интересная техника, – ряд мини-экскаваторов: X-320, X-325, X-331 и X-335. В этом классе машин компания производит одни из самых мощных механизмов с усилием отрыва ковша 14840 Н – 36540 Н. Масса мини-экскаваторов Bobcat в зависимости от модели и комплектации 1442 – 3422 кг. Наибольшая глубина копания 2200 – 3514 мм. Экскаваторы комплектуются двигателями Kubota или Perkins мощностью

10,1 – 35 кВт Gehl International выпускает несколько серий гусеничных мини-экскаваторов, которые производит в Японии и Италии. Машины GENLMAX III в стандартной модификации (серия J) и с нулевым радиусом разворота платформы (серия JX). В таких конструкциях укороченная задняя часть корпуса машины при повороте не выходит за ширину гусениц. Серия экскаваторов Compact Line, выпущенная компанией Fiat-Hitachi состоит из 6 моделей. Не смотря на малые габариты, эти механизмы способны выполнять достаточно трудоемкую работу. Все модели оснащены четырехтактными дизельными двигателями Kubota. На самые компактные модели FH15.2 и FH22.2 установлены трехцилиндровые D1105-КА с рабочим объемом 1123 см³ и мощностью 17,3 л. с. Средние FH30.2 и FH35.2 оснащены четырехцилиндровыми V1505-КА – 1498 см³ и 23,2 л. с. А на большие FH40.2 и FH45.2 – тоже четырехцилиндровые V2203-КА, но с большим рабочим объемом 2197 см³ и мощность 35,5 л. с. Глубина копания мини-экскаваторов Fiat-Hitachi от 2170 до 3965 мм [18]. Некоторые мини-экскаваторы выглядят игрушками, например, как эта модель Komatsu PC02 (ширина 690 мм, высота 1150 мм, вес 475 кг).

Как и большинство других производителей, Fiat-Hitachi выполняет свою технику в нескольких вариантах: с кабиной, оборудованной часами, радио и обогревателем или просто с навесом. У мини-экскаваторов этой компании много отличительных особенностей, об одной из которых следует упомянуть особо – движением машины, работой отвала, подъемом и поворотом стрелы управляет гидравлическая система OHS (Optimal Hydraulic System). Мини-экскаваторы не обязательно просты по своей конструкции. Современные модели высокотехнологичны и сложны, тем не менее, легки в управлении и обслуживании. А, ко всему прочему, они сравнительно дешевы. Все эти факторы привлекают покупателя, в результате этот сегмент оборудования становится самым покупаемым. Однако все это за рубежом, у нас ситуация иная. За рубежом мини-экскаваторы более распространены в жилищно-коммунальном и сельскохозяйственном секторе. В России данный вид техники встречается только на строительных объектах крупных компаний, для исполнения либо совсем простых, но трудоемких функций, либо, наоборот, для решения нестандартных задач.

Среди всех конструкций мини-экскаваторов наибольший интерес вызывают машины с нулевым радиусом поворота платформы. Такие механизмы могут работать в самых стесненных условиях. Все конструктивные части новых машин размещены компактно и без свесов, а выступающее экскавационное оборудование складывается и занимает минимальный объем.

Среди разработчиков и производителей машин с нулевым радиусом поворота платформы превалируют японские производители. В этом сегменте уверенно себя чувствуют фирмы: Kubota, Yanmar, Kobelco, Komatsu. Среди европейских продуцентов похожие конструкции выпускают уже упомянутая Gehl International и компания Case.

Мини-экскаваторы занимают самый большой сектор в области малогабаритной техники. За рубежом большая доля таких машин поступает в распоряжение лизинговых компаний. Поэтому уровень продаж мини-экскаваторов в отдельных странах может также служить показателем развития рынка лизинговых услуг.

Если рассуждать об отличительных особенностях современного мини-экскаватора, то здесь главным показателем является не его компактность, и даже не малая стоимость. При всей своей миниатюрности мини-экскаваторы последних моделей выпускаются в полном функциональном исполнении, подобно полноразмерным машинам. Более того, они сложнее, имеют полноповоротную платформу, а также стрелу с ковшом, наделенную большой степенью поворотной свободы, как у экскаваторов-погрузчиков.

Обычно мини-экскаваторы оснащены гусеничным ходовым оборудованием с резиновыми или металлическими гусеницами. Почти у всех этих механизмов джойстиковое управление, а усиленная звукоизоляция кабины и моторного отсека делает их практически бесшумными. Все мини-экскаваторы оснащены кабинами с увеличенной площадью остекления. В наиболее компактных машинах кабина порой отсутствует вовсе, а над рабочим местом оператора, в лучшем случае, располагается навес.

Землеройные механизмы мини-экскаватора обычно оснащены автоматическими гидросистемами подстройки под рабочие нагрузки, а также дополнительным гидроконтуром с

быстроразъемными муфтами для подсоединения навесного оборудования: сменного ковша, гидромолота, буровой штанги и др. Для повышения устойчивости и осуществления несложных планировочных работ мини-экскаваторы оснащаются бульдозерным отвалом.

В мини-экскаваторе удачно сочетаются маневренность и проходимость, невысокое давление на грунт и небольшие размеры, значительная глубина копания и относительно большая высота выгрузки грунта. А доставка мини-погрузчика к месту работ превращается в заурядную транспортную операцию, не требующую большегрузных трейлеров. Все это делает данный класс землеройной техники все более популярным за рубежом, а в последние годы и у нас в Казахстане, мини-экскаваторы с резиновыми или стальными гусеницами, кабиной или козырьком.

Компания Gehl International не так давно занимается выпуском небольших строительных машин. Более 120 лет она специализировалась на сельскохозяйственном машиностроении, но в 1986 г. открыла для себя рынок легкого строительного оборудования. Возможности компании в этой области оказались достаточными, чтобы к 1991 г. она заявила о себе на международном уровне. Сегодня Gehl успешно развивает дилерскую сеть в Европе, на Среднем Востоке, в Латинской и Южной Америке, Тихоокеанском регионе и активно обновляет номенклатуру выпускаемой продукции.

3.3.1. Расчет погрузчика

Ориентировочно масса погрузчика (т)

$$m = \frac{Q_n}{q}, \quad (3.4)$$

где $q=0,2$ – для погрузчиков Q_n – номинальная производительность погрузчика [14].

$$m = \frac{2}{0,2} = 10.$$

3.3.2. Определение производительности

Теоретическая производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$)

$$П_T = 3600 \frac{V \gamma k_n}{T_{\text{ц}} k_p}, \quad (3.5)$$

где k_n – коэффициент заполнения ковша, $k_n = 0,5 \div 1$;
 k_p – коэффициент разрыхления материала, $k_p = 1,25$.
 γ – плотность грунта.

3.3.3. Определение рабочего цикла

$T_{\text{ц}}$ – время рабочего цикла, с

$$T_{\text{ц}} = k_{\text{совм}} (t_{\text{к}} + t_{\text{пер}}) + t_{\text{зач}} + t_{\text{разгр}} + t_{\text{разв}} + t_{\text{унр}}, \quad (3.6)$$

где $k_{\text{совм}}$ – коэффициент учитывающий совмещение операций;
 $k_{\text{совм}} = 0,85 \div 0,9$;
 $t_{\text{к}}$ – время подъема/опускания ковша, $t_{\text{к}} = 20$ с;
 $t_{\text{пер}}$ – время передвижения погрузчика, $t_{\text{пер}} = 30$ с;
 $t_{\text{зач}}$ – время зачерпывания материала, $t_{\text{зач}} = 20$ с;
 $t_{\text{разгр}}$ – время разгрузки, $t_{\text{разгр}} = 5$ с;
 $t_{\text{разв}}$ – время поворота, $t_{\text{разв}} = 20$ с;
 $t_{\text{унр}}$ – время, затрачиваемое на управление машиной, $t_{\text{унр}} = 10$ с;
 Эксплуатационная производительность [3]

$$П_{\text{э}} = T_{\text{ц}} П_T k_u. \quad (3.7)$$

3.3.4. Расчет параметров ковша

Схема ковша показана на рис. 3.6.

Принимаем ширину ковша исходя из ширины базового шасси $B = 2100$ мм.

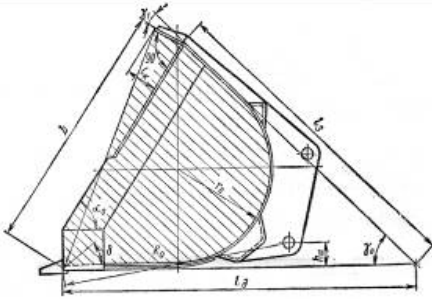


Рис. 3.6. Ковш погрузчика

Радиус поворота (м) [1]

$$R_0 = \sqrt{\frac{V_H}{B\lambda}}, \quad (3.8)$$

где

$$\lambda = 0.5\lambda_d(\lambda_3 + \lambda_k \cos \gamma_1) \sin \gamma_0 - \lambda_r^2 \left[\operatorname{ctg} \frac{\gamma_0}{2} - 0.5\pi \left(1 - \frac{\gamma_0}{180} \right) \right],$$

λ_d – относительная длина днища ковша, $\lambda_d = 1,45$;

λ_3 – относительная длина задней стенки, $\lambda_3 = 1,15$;

λ_k – относительная высота козырька, $\lambda_k = 0,13$;

λ_r – относительный радиус сопряжения днища с задней стенкой, $\lambda_r = 0,37$;

γ_0 – угол между задней стенкой и днищем ковша, $\gamma_0 = 50^\circ$;

γ_1 – угол скоса верхней кромки [14]

$$R_0 = \sqrt{\frac{V_H}{B\lambda}}, \quad (3.9)$$

где

$$\lambda = 0.5\lambda_d(\lambda_3 + \lambda_k \cos \gamma_1) \sin \gamma_0 - \lambda_r^2 \left[\operatorname{ctg} \frac{\gamma_0}{2} - 0.5\pi \left(1 - \frac{\gamma_0}{180} \right) \right]$$

λ_d – относительная длина днища ковша, $\lambda_d = 1,45$;

λ_3 – относительная длина задней стенки, $\lambda_3 = 1,15$;

λ_k – относительная высота козырька, $\lambda_k = 0,13$;

λ_r – относительный радиус сопряжения днища с задней стенкой, $\lambda_r = 0,37$;

γ_0 – угол между задней стенкой и днищем ковша, $\gamma_0 = 50^\circ$.

3.3.5. Тяговый расчет минипогрузчика

Напорное усилие по мощности двигателя (Н) [14]

$$T_n = \frac{1000 N \eta_T}{v_p} - f G_n, \quad (3.10)$$

где N – мощность двигателя, кВт;

η_T – к.п.д. трансмиссии, $\eta_T = 0,88$;

v_p – скорость погрузчика, $v_p = 0,91$ м/с;

f – коэффициент сопротивления качению, $f = 0,06 \div 0,1$;

G_n – вес погрузчика.

Максимальное напорное усилие с учетом увеличения крутящего момента двигателя (Н)

$$T_{\max} = \varepsilon T_n \frac{1}{1 - \delta_p}, \quad (3.11)$$

где ε – коэффициент перегрузки двигателя; $\varepsilon = 1,1 \div 1,15$;

δ_p – буксование движителей; $\delta_p = 0,2$.

3.3.6. Определение сопротивления внедрению ковша в материал

Общее сопротивление внедрению ковша в материал (Н) (рис. 3.7).

$$W = W_1 + W_2 + W_3. \quad (3.12)$$

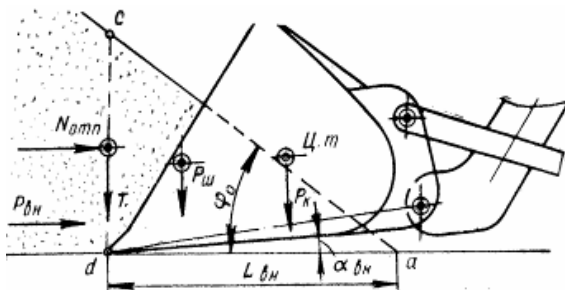


Рис. 3.7. Схема заполнения ковша

Сопротивление, возникающее на передней режущей кромке и на кромках боковых стенок ковша (Н)

$$W_1 = k k_1 B L_{вн} , \quad (3.13)$$

k – сопротивление резанию; $k = 0,02$ МПа;

k_1 – коэффициент учитывающий сопротивление на кромках боковых стенок ковша; $k_1 = 1,1$;

B – ширина кромки ковша, м;

$L_{вн}$ – глубина внедрения ковша.

Сопротивление от трения между материалом и внутренними поверхностями днища и боковых стенок ковша (Н)

$$W_2 = k_2 f P_{ш} , \quad (3.14)$$

где k_2 – коэффициент учитывающий трение материала о боковые стенки ковша; $k_2 = 1,04$;

f – коэффициент трения материала о ковш; $f = 0,4$;

Сопротивление движению грунта в ковше

$$W_3 = G_{np} \gamma f \quad (3.15)$$

$P_{ш}$ – сила зависящая от веса материала G_{np} в объеме призмы $a c d$ и от давления со стороны материала, находящегося за пределами призмы (Н)

$$P_{ш} = G_{np} (1 + \sin^2 \varphi_0) = 0.5 B L_{вн}^2 \gamma \operatorname{tg} \varphi_0 (1 + \sin^2 \varphi_0) , \quad (3.16)$$

где φ_0 – угол естественного откоса материала; $\varphi_0 = 45^\circ$.

3.3.7. Проверка условия движения минипогрузчика

$$T_{сц \max} \geq T_n \geq W . \quad (3.17)$$

Условие выполняется.

В конце внедрения при повороте ковша для зачерпывания материала необходимо преодолеть силу T сопротивления сдвигу материала по плоскости сдвига $c d$ (Н)

$$T = \mu N_{отн} + \tau F_{сдв} , \quad (3.18)$$

где μ – коэффициент внутреннего трения материала по поверхности сдвига; $\mu = 0,5$;

τ – удельное сопротивление сдвигу материала, $\tau = 0,02 \text{ МПа}$;
 $F_{сдв}$ – площадь сдвига, м^2 ;

$$F_{сдв} = L_{ен} B \operatorname{tg} \varphi_0 = 0,7 \cdot 2,1 \cdot \operatorname{tg} 45^0 = 1,47 \text{ м}^2.$$

$N_{омн}$ – пассивный отпор штабеля при отсутствии подпора материала в заднюю стенку ковша (подпор недопустим, так как увеличивает усилие внедрения)

$$N_{омн} = 1,06 f (G_{np} + T) \quad (3.19)$$

Решая систему уравнений $\begin{cases} T = \mu N_{омн} + \tau F_{сдв} \\ N_{омн} = 1,06 f (G_{np} + T) \end{cases}$ относительно

T , получим

$$T = \frac{1,06 f \mu G_{np} + \tau F_{сдв}}{1 - 1,06 f \mu}. \quad (3.20)$$

4. ОДНОКОВШОВЫЕ ЭКСКАВАТОРЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Для проведения земляных работ, погрузки различных сыпучих и кусковых материалов нет лучше машины, чем экскаватор. Это основная землеройная погрузочно-разгрузочная техника. Изначально экскаватор комплектуется ковшом – его основным рабочим инструментом. Однако большое количество навесного оборудования, таких как, к примеру, грейфер, гидронул, погрузочный ковш или гидромолот делает экскаватор практически универсальной машиной. Планировочные отвалы, грабли, рыхлители, вилы, цепные траншеекопатели применяются при землеройных работах, краны с крюком – при грузоподъемных работах, ковш обратная лопата – при расчистке завалов и реконструкции зданий. Установив на машину погрузочный ковш, мы получаем экскаватор погрузчик, способный выполнять множество операций: это и землеройные работы, и погрузка разнообразного материала, и переработка грунтов, и планировка площадок, и мн. др. Таким образом, экскаватор, благодаря использованию множества инструментов, способен собой заменить ряд строительной. В настоящее время ни одна стройка в стране не обходится без экскаваторов. Их высокая производительность, способность работать в любых условиях, надежность, качество и разнообразие выполняемых ими земляных работ обеспечили этим машинам широкое применение в различных областях народного хозяйства. Для каких конкретно работ предназначены экскаваторы? Их можно использовать при рытье котлованов, каналов, траншей, разработке выемок и насыпей, сооружении дамб и расчистке территорий, на вскрышных работах и в карьерах, при перегрузке сыпучих строительных материалов и планировочных работах и во многих других случаях. Область их применения в практически не ограничена. Там, где есть доступ для этой машины, земляные работы будут выполнены с высоким темпом и качеством. Экскаваторы могут вести разработку грунта как выше уровня площадки, на которой они стоят, так и ниже этого уровня. Они могут действовать в стесненных условиях и разрабатывать грунт

под слоем воды, выгружать выкопанный грунт в транспортные средства, и отсыпать его на значительное расстояние от места копания в отвал, могут окончательно отделять уклон и поверхность стенок траншей и котлованов, а также с достаточной точностью планировать горизонтальную поверхность строительной площадки или дна траншей и котлованов.

Очевидно, что каждый вид работы требует применения приспособленных для этого экскаваторов и предназначенного для каждого конкретного случая рабочего оборудования. Под рабочим оборудованием подразумеваются те узлы машины, при помощи которых экскаватор непосредственно копает грунт (ковш, стрела, рукоять с системой их привода). Играет определенную роль в этих случаях, также тип ходовой части машин: снабжен ли экскаватор гусеничным ходом, дающим машине возможность доступа в любое место площадки при отсутствии подъездных путей и при плохих грунтовых условиях или имеет он пневмоколесную ходовую часть, хотя и обладающую худшей проходимостью, но позволяющую быстро перемещать машину с объекта на объект. Для выполнения определенных работ имеет значение вид привода рабочего оборудования. Так, экскаваторы с гидравлическим приводом более производительны, лучше приспособлены для планировочных, отделочных операций, однако машины с канатной подвеской более применимы при отрывке и углублении каналов с помощью ковша-драглайна, при земляных работах на значительном удалении от машины. И, конечно, большую роль играет возможность поворота рабочего оборудования или, иными словами, наличие у них поворотной платформы, которая создает широкие возможности для выгрузки грунта и прочих работ.

Таким образом, особенности конкретных видов земляных работ, которые необходимо выполнить экскаватору, – например, вырыть котлован, траншею, канал, спланировать поверхность площадки или перегрузить сыпучие материалы, а также объем грунта, предполагаемого к выемке, и грунтовые условия на объекте диктуют применение экскаваторов с определенными рабочим оборудованием, ходовой частью и типом привода рабочего оборудования. Для выполнения всех возможных видов

земляных работ выпускаются экскаваторы различного конструктивного исполнения. Их можно разделить на две большие группы: одноковшовые и многоковшовые. Одноковшовые экскаваторы (их называют иногда экскаваторами цикличного действия) все операции по копанию грунта, его перемещению и выгрузке выполняют последовательно и циклично: сначала заполняют ковш грунтом, затем поворачивают загруженный ковш, в конце поворота выгружают грунт из ковша (в отвал или транспортные средства) и, наконец, возвращают порожний ковш в начальное положение для загрузки. Далее этот цикл операций повторяется. Многоковшовые экскаваторы (их называют также экскаваторами непрерывного действия) выполняют все рабочие операции по копанию, перемещению и выгрузке грунта одновременно. Пока часть ковшей или ножей режет грунт, другие перемещают его, а третьи — выгружают. При работе этих машин нет ярко выраженного повторяющегося цикла рабочих операций. Одноковшовые экскаваторы получили большее распространение в строительстве, чем многоковшовые, в связи с тем, что обладают большей универсальностью. Универсальность – это способность экскаватора выполнять разнообразные земляные работы, начиная от сооружения траншей, котлованов, каналов и кончая отсыпкой насыпей и дамб, а также вести погрузочно-разгрузочные работы. Конечно, все это экскаватор может выполнять только с помощью различного сменного рабочего оборудования.

Экскаваторы делятся на следующие виды и разделяются по следующим типам:

- одноковшовые экскаваторы – бывают универсальными и специальными;
- универсальные экскаваторы оснащены различным сменным оборудованием для выполнения земляных работ, планировочных, монтажных и других видов строительных работ;
- специальные экскаваторы оснащены только одним видом рабочего оборудования для земляных и погрузочных работ;
- по назначению одноковшовые экскаваторы подразделяют на следующие группы: строительные и строительно-карьерные,

карьерные экскаваторы, вскрышные, туннельные и шахтные экскаваторы;

- по числу установленных двигателей: экскаваторы бывают одно и многомоторными;

- по типу привода: различают экскаваторы с механическим, гидромеханическим, гидравлическим, электрическим и смешенными приводами;

- по возможности вращения поворотной платформы: экскаваторы бывают полноповоротными и неполноповоротными;

- по типу ходового устройства: экскаваторы разделяют на гусеничные, пневмоколесные, на специальном шасси, на базе самоходной машины;

- по типу подвески рабочего оборудования: различают экскаваторы с гибкими элементами (преимущественно канатами) и жесткими элементами – преимущественно гидравлическими цилиндрами;

- по видам рабочего оборудования: обратная лопата, прямая лопата, погрузочное оборудование, грейфер, драглайн, гидромолот и т. д.; существует более сорока наименований сменного оборудования [6, 9, 11].

Экскаватор имеет множество преимуществ. Во-первых, при большой нагрузке его узлы отличаются большей надежностью и долговечностью. Во-вторых, при переэкскавации и приемке грунта в отвалах экскаватор отличается большей производительностью. В связи с тем, что рассматриваемые конструкции экскаваторов широко применяются в промышленных, горно-добывающих отраслях, в особенности, стройиндустрии, то в данной работе рассмотрены многие конструкции новых экскаваторов.

Конструкция экскаваторов позволяет производить ремонт основных узлов и агрегатов без привлечения вспомогательных грузоподъемных механизмов, они снабжены современной технологией Caterpillar; двигателями Cummins или Isuzu; объем ковша составляет от 0,9 до 1,45 м³; комфортабельными кабинами с рабочим местом Grammer, кондиционерами. На рис. 4.1 представлен один из перспективных экскаваторов – экскаватор XCG, двигатель

Cummins B-5.9 – C-170л.с., 2000 об/мин, имеет два плунжерных гидронасоса Kawasaki (Япония), максимальный расход топлива 224,2 л/мин, привод хода – два аксиально-поршневых гидромотора Nudashi, привод поворота – аксиально-поршневой, система поворота платформы – двухступенчатый планетарный редуктор, объем ковша 1,05 м³, максимальная глубина копания 6665 мм, радиус копания 9827 мм.

Экскаваторы различают по способу их работы: машины, оборудованные одним ковшом (одноковшовые), имеют циклический характер работы, многоковшовые же экскаваторы работают по принципу непрерывного действия. Также экскаваторы различаются по принципу передвижения: на колесном или на гусеничном ходу. Благодаря универсальности и незаменимости этой строительной техники, экскаваторы активно применяются во многих отраслях Республики Казахстан.

Мировые производители спецтехники обращают внимание на положительные изменения, проявившиеся в повышении эффективности и производительности экскаваторов. В различных моделях оно выражается в следующих моментах: увеличены скорости операций и мощностей, улучшены геометрия и кинематика рукояти и стрелы, программирование режимов работы двигателя стало автоматическим, применены быстродействующие захваты для дополнительных инструментов, повышено качество деталей и устройств, не требующих теперь частого ремонта, улучшена проходимость и увеличена безопасность. Обращено также внимание на условия работы оператора.

Экскаватор снабжен защитными конструкциями ROPS и FOPS, оберегающими кабину от повреждений в случае опрокидывания и падения предметов сверху. Кроме того, кабина оператора снабжена звуко-, тепло- и виброизоляцией, кондиционером и отоплением. При выборе техники особое внимание обращается, в первую очередь, на надежность, долговечность и удобство. Остановимся на некоторых марках мирового значения. Hitachi Construction Machinery Co – разрабатывает строительную технику, обладающую очень широким спектром возможностей, оставаясь при этом очень

простой в обслуживании. Komatsu – экскаваторы надежные, долговечные, высокоскоростные, многофункциональные. Навесное оборудование позволяет создать экскаватор погрузчик, экскаватор-планировщик и др. Автоматические системы управления точны, надежны и просты в эксплуатации. Liebherr – известная немецкая фирма, производящая спецтехнику. Отличительными признаками Liebherr являются: электронно-гидравлическая система управления, для гусеничных машин – гидрообъемный ходовой привод, у колесных – автоматическая коробка передач с их сменой под нагрузкой. Среди российских известны – машиностроительная компания «КРАНЭКС» и экскаваторные заводы: «Тверской экскаваторный завод», «Ковровец» [17, 18].

Самым распространенным рабочим оборудованием гидравлических экскаваторов является ковш «обратная лопата». Он состоит из задней стенки, двух боковых стенок, передней стенки с козырьком и зубьев (или коронок), а также адаптера для присоединения рукояти и тяги экскаватора. Все детали ковша соединены между собой сваркой. Задняя стенка скруглена, чтобы избежать трения о грунт при повороте ковша.

Ковши различаются по назначению (по типам): усиленные, скальные, планировочные, траншейные, профильные, зачистные, погрузочные и т. д. На одну и ту же модель экскаватора могут устанавливаться ковши разной вместимости, конфигурации и конструкции.

При проектировании ковшей используют программы AvtoCAD, SolidVorks, AvtoPOL, что позволяет рассчитывать прочностные характеристики детали. Маркированная сертифицированная сталь раскраивается на современном аппарате газокислородной резки с ЧПУ. На листогибочном станке придают соответствующую форму задней стенке ковша. Для улучшения качества сварных швов все детали ковша очищают от окалины в дробеструйной камере. Все детали ковша соединены между собой сваркой. Задняя стенка скруглена, чтобы избежать трения о грунт при повороте ковша.



Рис. 4.1. Экскаватор XCG

Ковши собирают на специализированном стапеле. На рис. 4.2 приведены современные типы ковшей, используемые в производственных условиях. Сварку ковша производят опытные сварщики на сварочных полуавтоматах. Втулки крепления ковша растачивают на расточном станке, обеспечивающем соосность отверстий. На последнем этапе производственного процесса собранный и сваренный ковш обрабатывают в дробеструйной камере, при этом снимается окалина и внутренние напряжения со сварных швов. Окраска ковша производится в соответствии с эргономикой. Немаловажной является организация строгого технического контроля на каждом этапе производственного процесса, что позволяет повысить качество продукции.

Земляные работы, как правило, выполняют ковшами с **зубьями** или коронками [7]. Число и тип зубьев зависят от ширины ковша и вида работ, для которых он предназначен. Зубья помогают уменьшить первоначальное усилие внедрения ковша в обрабатываемый материал и снизить износ плоской режущей кромки ковша.



Рис. 4.2. Ковши, выпускаемые известными фирмами

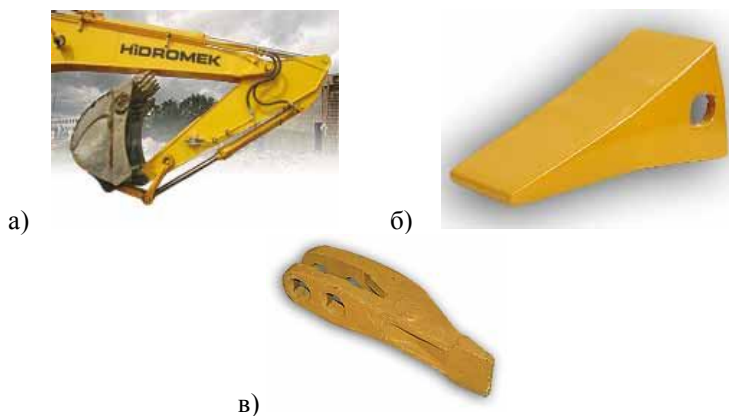


Рис. 4.3. Ковш экскаватора, зуб и коронка:

- а) ковш экскаватора ЭО-4124 с вставными зубьями;
б) зубья ковш; в) коронка ковш экскаватора Komatsu

За последние 30 лет ковш существенно конструктивно не изменился. Значительную эволюцию претерпели конструкции **зубьев** ковша и способы их крепления. Раньше в основном использовали вставные зубья. Их крепили в гнезда режущей кромки, чаще всего выполненные как единая литая деталь, что существенно удорожало и утяжеляло ковш (рис. 4.3). Сегодня наибольшее распространение получили вильчатые зубья с болтовым креплением к режущей кромке для ковшей вместимостью до $0,3 \text{ м}^3$ (рис. 4.3, в).

Такая конструкция позволяет снизить металлоемкость, а значит, и стоимость зубьев – основного расходного элемента ковша. Способ термообработки, применяемый метод изготовления – поковка или литье. **Зубья** изготавливают из износостойких сталей с повышенными прочностными характеристиками. Литые зубья изготавливают из стали **110Г13Л** или из конструкционных марганцево-хромомолибденовых и никелевых сталей.

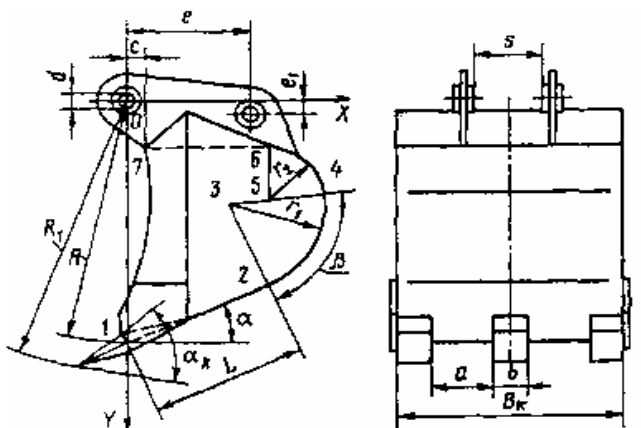


Рис. 4.4. Геометрические параметры ковша экскаватора с обратной лопатой:

B_k – ширина ковша, a – расстояние между зубьями, s – расстояние между креплениями на задней стенке, R_1 – радиус копания ковша, включая режущую кромку, R – средний радиус копания ковша, L – длина задней режущей части, α_k – угол резания зубов

Эффективность ковша во многом зависит от профиля и параметров его продольного профиля. Известно, что чем больше угол подъема днища и меньше радиус днища, тем больше сила копания P_k . Казалось бы, что ковш, продольный профиль которого совпадает с профилем дна прорези, остающийся в грунте после прохода ковша наилучший. При этом исключилась бы возможность преждевременного упора грунта в заднюю стенку. Но многочисленные опыты и анализ статистических данных по эксплуатации показывает, что:

- предусматривается большой зазор между днищем и поверхностью грунта;
- разброс значений этого зазора у разных ковшей велик (зона между штриховыми линиями рис. 4.5);
- зазор тем больше, чем дальше зуб находится от рассматриваемой точки.

Кривые, показанные на рис. 4.5 могут быть описаны уравнением

$$Y = A[1,7x - 0,6(x^2 + x^3)], \quad (4.1)$$

где x и y – координаты точек в долях радиуса R_l ; A – коэффициент пропорциональности, равный 0,85 и 1,15 для границ разброса (штриховые линии) и $A = 1$ – для среднего разброса (сплошная линия) [5]. Чем больше значение A , тем меньше сила и энергоемкость копания. При этом необходимо знать, что ось поворота ковша не остается неподвижной, а перемещается в пространстве (рис. 4.6), при внедрении кромки в грунт ось смещается в верхнее положение 2, а затем перемещается в горизонтальное положение 3. Траектория движения зуба (сплошная линия) оказывается выше расчетной траектории (штриховая линия). При углублении зуба ось опускается вместе с ковшом в положение 4. Если не предусматривается зазор между днищем и прорезью, то оно внедряется в грунт прорези, при этом сопротивление копанию резко увеличивается, ковш выталкивается из забоя и его заполнение уменьшается. Объяснить это можно тем, что при внедрении ковша в грунт возникает реактивная сила, действующая на гидроцилиндр поворота ковша, которая деформирует рабочее оборудование,

преодолеваются весовые силы, уменьшаются зазоры в шарнирах и поворотном круге, смещаются штоки запертых цилиндров рукояти и стрелы, деформируются гибкие шланги, а также грунт под гусеницами.

Обзор экспериментальных и теоретических исследований показывает, что наименьшей энергоемкостью набора грунта в ковш обладают ковши, продольный профиль днища которых удален от центра поворота ковша, т. е. приближен к поверхности забоя. Смещение центра поворота ковша обусловлено податливостью конструкции крепления ковша и значением нагрузки, воспринимаемой ковшом при копании. Упругие деформации несущей конструкции экскаватора в заданном направлении определяются размерами элементов металлоконструкции машины, характеристиками упругости гидросистемы и положением рабочего оборудования.

Псевдоупругие деформации – следствие наличия зазоров в кинематических парах проушин крепления гидроцилиндров, узлов совместного крепления ковша, рукояти, стрелы, поворотной платформы, опорно-ходовой рамы и опорных устройств.

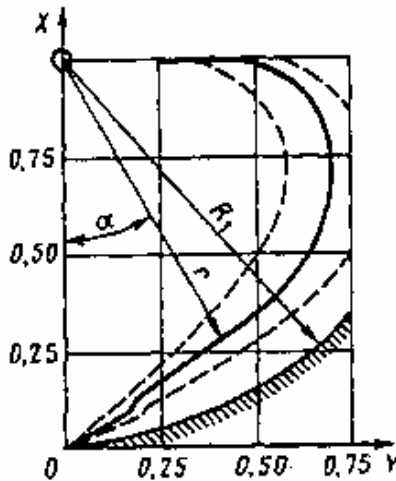


Рис. 4.5. Продольный профиль ковша обратной лопаты

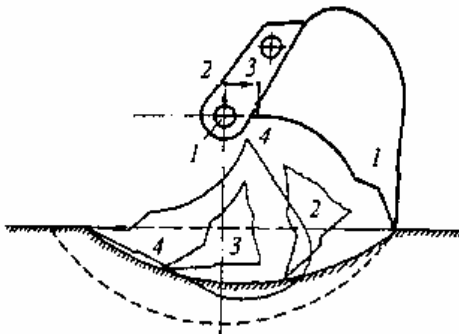


Рис. 4.6. Движение ковша экскаватора с обратной лопатой

Применение экскаваторов с удлиненными стрелами обеспечивает в соответствующих условиях снижение затрат на вскрышные работы за счет уменьшения объемов переэкскавации. Модификации экскаваторов с пониженным на 20÷25 % удельным давлением на грунт смогут эффективно использоваться на слабых обводненных грунтах и отвалах. Типоразмеры базовых моделей и их модификаций шагающих экскаваторов составляют более 13, кроме того, шесть вариантов их исполнения с пониженным удельным давлением на грунт. Шагающие экскаваторы-драглайны – основное технологическое выемочно-перегрузочное оборудование на горных предприятиях, работающих по бестранспортной схеме вскрышных работ.

Приоритетность направления бестранспортной технологии вскрышных работ прогнозируется на ближайшие 10–15 лет, что было убедительно аргументировано на последних научно-практических конференциях, состоявшихся в Китае, США и Индии.

Основные направления технической политики в области развития экскаваторов-драглайнов на ближайшие 5–10 лет:

- расширение типоразмерного ряда экскаваторов в сторону машин малой единичной мощности (с ковшами вместимостью 8 м³ и менее) на гусеничной базе;
- освоение выемочно-погрузочных агрегатов на базе драглайнов для новых технологий вскрышных работ и транспортировки горных пород;

- разработка драглайнов с "прицельной" разгрузкой, например, "кранлайнов";

- разработка комплекса "драглайн – конвейер" для поточных технологий вскрышных работ [17, 18].

Наиболее важными направлениями совершенствования конструкции экскаваторов-драглайнов являются:

- внедрение и освоение современных систем электропривода (привод на переменном токе по системе "непосредственный преобразователь – асинхронный двигатель");

- внедрение электромеханического механизма шагания на экскаваторах малой единичной мощности;

- оснащение экскаваторов автоматической централизованной системой густой смазки с использованием современного смазочного оборудования фирмы "Lincoln" (Германия);

- применение высокопрочных сталей "Hardox" для изготовления корпусов ковшей;

- оснащение экскаваторов современными системами автоматизированного управления электроприводами;

- оснащение экскаваторов средствами контроля и диагностики с возможностью дистанционной передачи информации.

Ведущие фирмы по выпуску экскаваторов проводят серьезную работу по модернизации экскаваторов (рис. 4.7) [18]. Это вызвано тем, что горнодобывающие предприятия зачастую вместо обычных капитальных ремонтов экскаваторов предпочитают модернизацию с использованием современных технических решений и современных комплектующих изделий, что значительно повышает эффективность использования экскаваторов. Например, на Нарвском сланцевом карьере (Эстония) ООО "ОМЗ-ГОиТ" совместно с фирмой АВВ (Германия) в 2005–2008 гг. проведена модернизация шагающих экскаваторов ЭШ 15.90А № 54 и № 83 с полной заменой электрооборудования и всеми необходимыми изменениями металлоконструкций экскаваторов. Применен современный экскаваторный электропривод с частотно-регулируемыми преобразователями со звеном постоянного тока, выполненными на базе транзисторов с микропроцессорным управлением и асинхронными электродвигателями.

Для более эффективной работы горной техники в США, Канаде, Австралии и других странах применяются технологии горных работ с использованием данных, получаемых со спутников – так называемых Global Positioning System (GPS). При помощи GPS очень точно определяются геодезические характеристики месторождения, проводится эффективное диспетчирование буровзрывных, выемочных и транспортных горных работ. Горная техника, в том числе экскаваторы, при этом остается традиционной, но она дополнительно оснащается специальными телекоммуникационными средствами и компьютерами для приема, обработки и использования данных GPS [17].

Технология горных работ на основе GPS применяется, в первую очередь, на крупных горных предприятиях, что в условиях горно-добывающей промышленности Казахстана жизненно необходимо.

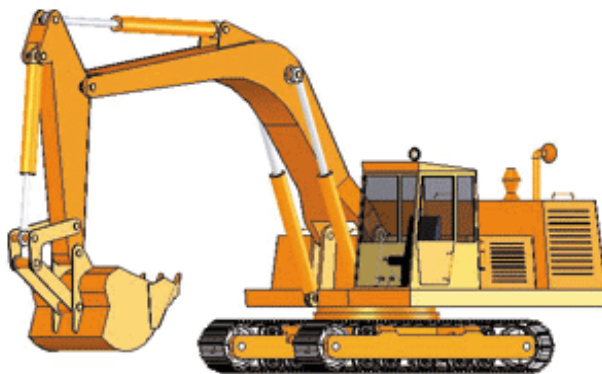


Рис. 4.7. Одноковшовые экскаваторы

Одноковшовые экскаваторы – универсальные машины, используемые при копании грунтов до VI категории прочности, разборке слабой и взорванной скальной породы. Они применяются для выемки из забоя и погрузке в транспорт отвалов сыпучих и крупнокусовых материалов, разрушения старых сооружений, расчистки территорий при пробивке трасс,

расчистки мелиоративных и водоотводных канав, отрывке больших котлованов и протяженных траншей, сооружении грунтовых насыпей, строительстве тоннелей и мостовых переходов и на других работах.

Разнообразие сфер применения экскаваторов предопределило большое число вариантов их исполнения, а также типов используемого рабочего оборудования. В строительстве наиболее широко применяются машины массой до 40 т с гидрообъемным приводом рабочего оборудования, которые обычно и относят к группе строительных экскаваторов. Признаки, приведенные на классификационной схеме, не исчерпывают всего многообразия конструкций и типов машин, но дают общее представление о типаже, сложившемся в настоящее время. Полноповоротный экскаватор состоит из поворотной платформы, которая через опорно-поворотное устройство опирается на раму ходового оборудования. На поворотной платформе установлены двигатель, примыкающая к нему часть ходовой трансмиссии, кабина, системы управления, рабочее оборудование и его силовой привод. Рама ходового оборудования экскаватора, его движитель и ходовая трансмиссия вместе образуют шасси машины. Конструкция опорно-поворотного устройства обеспечивает вращение поворотной платформы в любую сторону и на любое число оборотов.

Неполноповоротные экскаваторы представляют собой малоразмерное экскаваторное оборудование, навешенное на базовую машину. Сменное оборудование навешивается на базовую машину и демонтируется по мере необходимости, а несменное является основным и используется постоянно.

В большинстве случаев базовой машиной для несменного экскаваторного оборудования является колесный трактор, к задней части рамы которого крепится стрела с рукоятью, ковшом, исполнительными гидроцилиндрами и дополнительными механизмами. В этом случае угол поворота экскаваторного оборудования ограничен конструкцией базовой машины и не превышает 180°. Поворот экскаваторного оборудования относительно вертикальной оси обычно осуществляется гидроцилиндром, пятка которого закреплена на раме машины, а шток – на поворотной колонке. Она может быть

неподвижной, а может смещаться вбок по специальным направляющим, вынося ось отрываемой траншеи к колее правого или левого заднего колеса. Такая возможность особенно удобна при выполнении земляных работ, выполняемых вплотную к бордюрам, стенам и т. п. [6, 17].

Неполноповоротные экскаваторы используются при относительно небольших сосредоточенных объемах земляных и погрузочных работ, сопряженных с частыми перебросками машин между объектами и работой в стесненных условиях. Такие условия характерны при обслуживании и ремонте тепловых, водопроводных, газовых, электрических, дренажных и коммуникационных сетей, а также озеленении, благоустройстве и содержании городских территорий. Сменное неполноповоротное экскаваторное оборудование изготавливается ограниченными партиями, так как используется достаточно редко из-за стоимости, трудоемкости монтажа и демонтажа и необходимости хранения вблизи от базовой машины. Чаще всего оно выпускается для мини-погрузчиков с бортовым поворотом, а также для телескопических погрузчиков и автогрейдеров.

Полноповоротные экскаваторы монтируются на гусеничном или пневмоколесном шасси. Количество моделей гусеничных экскаваторов намного больше, чем пневмоколесных, что отражает соотношение между различными условиями эксплуатации.

Гусеничный движитель лучше приспособлен к грунтам с малой несущей способностью и обеспечивает экскаватору лучшую устойчивость к опрокидыванию и протаскиванию, повышенную проходимость по неровной местности и на слабых грунтах, большую маневренность в стесненных условиях и меньшую стоимость. Но перебазировка гусеничных машин требует больших затрат времени, привлечения специальных транспортных средств и соблюдения правил перевозки, оговариваемых транспортным законодательством.

Пневмоколесные машины более эффективны при частых перебросках машин между объектами и эксплуатации их на твердых поверхностях, выдерживающих достаточно высокое удельное давление, что наиболее характерно для городов. Пневмоколесный движитель обеспечивает экскаватору более высокие транспортные скорости, меньшую массу шасси,

меньший объем работ по обслуживанию, сохранность твердых и улучшенных покрытий дорог, меньший шум при передвижении. Колесные машины – это, как правило, варианты гусеничных прототипов, смонтированные на пневмоколесном шасси. Масса пневмоколесных строительных экскаваторов обычно не превышает 22 т, поскольку габариты более тяжелых машин лишают их главного преимущества – мобильности. Эластичность пневмоколес обуславливает обязательное использование на пневмоколесном экскаваторе выносных опор, а также бульдозерного отвала, используемого и по прямому назначению, и как опора и противовес. Колесно-рельсовый, комбинированный и плавучий движители применяются в ситуациях, когда ни гусеничный, ни пневмоколесный движитель не подходят по условиям эксплуатации.

Одноковшовыми экскаваторами называют позиционные землеройные машины циклического действия, оборудованные ковшовым рабочим органом [5]. *Рабочий цикл* одноковшового экскаватора состоит из последовательно выполняемых операций копания грунта, его перемещения в ковше к месту отсыпки, разгрузки ковша с отсыпкой грунта в отвал или в транспортное средство и возвращения ковша на позицию начала следующего рабочего цикла. В совокупности перечисленные операции еще называют *экскавацией*. После отработки *элемента забоя* (части грунтового массива в пределах досягаемости рабочего оборудования или, по условиям эффективного использования технологических возможностей экскаватора) экскаватор перемещают на новую позицию. Совокупность рабочих циклов на одной позиции экскаватора вместе с его перемещением на новую позицию образует *большой цикл*.

Одноковшовые экскаваторы классифицируют:

- по назначению (строительные – для производства земляных работ, погрузки и разгрузки сыпучих материалов; строительно-карьерные – для тех же работ и, кроме того, для разработки карьеров строительных материалов и добычи полезных ископаемых открытым способом; карьерные – для работы в карьерах; вскрышные – для снятия верхнего слоя грунта или горной породы перед карьерной разработкой; туннельные и шахтные – для работы под землей при стро-

ительстве подземных сооружений и разработке полезных ископаемых);

- по виду рабочего оборудования (прямая и обратная лопаты – для разработки грунта соответственно выше и ниже уровня стоянки экскаватора; драглайн – для разработки котлованов, траншей и каналов, погрузки и разгрузки сыпучих материалов, вскрышных работ; грейфер – для отрывки глубоких выемок; планировщик – для планирования горизонтальных поверхностей и откосов);

- по исполнению рабочего оборудования (канатные – с гибкой подвеской; гидравлические – с жесткой подвеской рабочего оборудования);

- по виду ходовых устройств (пневмоколесные, в т. ч. с использованием автомобильной или тракторной баз, а также специальных шасси автомобильного типа; гусеничные; шагающие – для мощных драглайнов большой массы);

- по возможности вращения поворотной части (полноповоротные и неполноповоротные);

- по числу установленных двигателей (одно- и многомоторные).

Кроме перечисленных выше видов экскавационного оборудования одноковшовые экскаваторы могут иметь крановое, сваебойное, трамбовочное и другое сменное оборудование. Экскаваторы, имеющие только один вид рабочего оборудования, называют *специальными*, а укомплектованные сменными видами рабочего оборудования – *универсальными*. К последним относится большинство одноковшовых экскаваторов.

Жесткое сочленение элементов рабочего оборудования гидравлических экскаваторов позволяет более полно по сравнению с канатными экскаваторами использовать вес машины для реализации больших усилий на зубьях ковша при оборудовании обратной лопаты и грейфера, благодаря чему основным видом рабочего оборудования этих экскаваторов стала обратная лопата, а не прямая лопата, как у канатных машин. Гидропривод обеспечивает рабочему оборудованию большую маневренность и универсальность, позволяет выбирать более рациональные рабочие движения, обеспечивает передачу движения от двигателя рабочему органу, в т. ч. с

преобразованием вращательного движения в поступательное, простыми техническими решениями. Благодаря существенным преимуществам перед канатными машинами гидравлические экскаваторы в общем объеме производства одноковшовых экскаваторов в нашей стране составляют более 80 %.

Гусеничные и шагающие ходовые устройства служат как для перемещения экскаватора на новую стоянку, так и в качестве опорной базы для передачи нагрузок на грунт при экскавации. Пневмоколесные ходовые устройства используют в основном только для передвижения, а при работе экскаватора его устанавливают на выносные опоры, разгружая ходовую часть.

Большинство одноковшовых экскаваторов являются полноповоротными. К неполноповоротным относятся экскаваторы небольшой мощности на базе пневмоколесных тракторов или короткобазовых погрузчиков (в основном мини-экскаваторы), а также на базе универсальных мотоблоков (микро-экскаваторы).

Строительные экскаваторы оборудуют преимущественно однодвигательной силовой установкой с механической, гидромеханической или гидравлической трансмиссиями. Карьерные и вскрышные экскаваторы, а также шагающие драглайны оборудуют в основном многомоторным электроприводом постоянного тока с питанием от сети высокого напряжения. Установленная мощность двигателя (силовой установки) гусеничных экскаваторов реализуется полностью на наиболее энергоемкой операции копания грунта, а мощность двигателя пневмоколесных экскаваторов – в транспортном режиме. При копании же этими экскаваторами реализуется примерно 80 % установленной мощности.

Главным параметром одноковшового экскаватора является его масса, в соответствии с которой экскаваторы подразделяются на размерные группы (табл. 4.1), характеризующиеся определенным набором основных параметров (мощностью силовой установки, вместимостью ковша, усилием на его зубьях, размерами рабочей зоны, продолжительностью рабочего цикла, скоростями передвижения, частотой вращения поворотной платформы, преодолеваемыми уклонами, удельным давлением на грунт или нагрузкой на ось, габаритными размерами и др.).

Таблица 4.1

Размерная группа экскаватора

Размерная группа	Масса экскаватора, т	
	Свыше	До
1	-	6,3
2	6,3	10
3	10	18
4	18	32
5	32	50
6	50	71

Одноковшовые универсальные экскаваторы (рис. 4.7) комплектуют несколькими сменными ковшами различных вместимостей для более полного использования энергетических возможностей силовой установки при разработке различных по прочности грунтов, а также другими видами сменного рабочего оборудования.

Универсальные экскаваторы обозначают индексами типа ЭО-0000, в которых первый ноль после буквенной части заменяют цифрами, обозначающими размерную группу; второй ноль – индексом типа ходового оборудования (1 – гусеничное, 2 – гусеничное с увеличенной опорной поверхностью, 3 – пневмокошесное, 4 – специальное шасси автомобильного типа, 5 – шасси грузового автомобиля, 6 – на базе трактора и т. д.); третий ноль – индексом типа подвески рабочего оборудования (1 и 2 – соответственно с гибкой и жесткой подвеской, 3 – телескопическое рабочее оборудование); последний ноль – номером модели экскаватора. Например, ЭО-4123 означает экскаватор универсальный четвертой размерной группы с гусеничным ходовым устройством, жесткой подвеской рабочего оборудования, третьей модели. Очередную модернизацию и климатическое исполнение, как и для стреловых кранов, обозначают буквами русского алфавита.

Экскаватор ЭО-4121 являлся первым в СССР полноповоротным гидравлическим экскаватором на гусеничном ходу с ковшами емкостью 0,65 – 1,5 м³ (принадлежит к

4 размерной группе). Также впервые давление рабочей жидкости в гидравлическом приводе было доведено до 250 кгс/см^2 .

Экскаватор предназначен для земляных работ в грунтах I–IV категорий и погрузки сыпучих материалов и мелкодробленых скальных пород с величиной кусков не более 400 мм. Все рабочие операции экскаватора и его передвижение выполняются с помощью системы гидравлического привода, которая приводится в действие от дизеля А-01М мощностью 130 л.с. Экскаватор разработан в конце 60-х начале 1970-х годов, серийно выпускался на Ковровском экскаваторном заводе с 1974 г. Неоднократно модернизировался в ЭО-4121А и ЭО-4121Б.

Экскаватор ЭО-4121А, (рис. 4.8, а) оборудованный обратной лопатой, применяется при разработке грунта ниже уровня стоянки и наиболее часто используется при рытье траншей для укладки подземных коммуникаций и небольших котлованов под фундаменты и другие сооружения. При работе с обратной лопатой также торцовый или боковой забой образуется рукояткой, либо совместным поворотом рукоятки и ковша.

Наиболее целесообразно применять экскаватор с обратной лопатой для разработки котлованов глубиной не более 5,5 м и траншей до 7 м. Жесткое крепление ковша обратной лопаты дает ему возможность рыть узкие траншеи с вертикальными стенками [6, 13].

Глубина разрабатываемых узких траншей, больше чем глубина котлованов, так как экскаватор может опускать стрелу с рукоятью в самое нижнее положение, сохраняя устойчивость.

Копают грунт либо поворотом рукоятки при фиксированном на ней ковше – от дна выемки вверх, либо поворотом ковша при фиксированных стреле и ковша.

Разгружают грунт отворотом ковша от рукояти. Разгрузка в транспортное средство, как это показано на рис. 4.9, во избежание просыпания грунта при его разгрузке, требуется координация ковша относительно кузова транспортного средства. Для этого платформу останавливают и разгружают грунт отворотом ковша от рукояти. Разгрузка в транспортное средство, во избежание просыпания грунта при его разгрузке, требуется координация ковша относительно кузова

транспортного средства. ГОСТ 30067 – «Экскаваторы одноковшовые универсальные гидравлические» регламентирует разделение экскаваторов на размерные группы по массе, вместимости ковша и мощности двигателя.

Как следует из описания, ГОСТ 30067-93 распространяется на два типа машин: собственно экскаваторы и экскаваторы-погрузчики (неполноповоротные экскаваторы на колесных тракторах с погрузочным оборудованием). В классификациях Европейских стран, США и Японии, а фактически, и в российской номенклатуре последние выделены в самостоятельный тип машин, обладающий чертами и экскаваторов, и погрузчиков. Общим для них и для полноповоротных экскаваторов являются элементы расчета устойчивости машины, а также расчет силовых характеристик процесса копания экскаваторным оборудованием и его прочности [17].

Иногда одноковшовые полноповоротные экскаваторы условно делят на следующие группы: мини-экскаваторы – массой до 5 т, миди-экскаваторы – массой до 8 т, полноразмерные экскаваторы – массой до 40 т и экскаваторы специального назначения – массой более 40 т. Полноповоротные экскаваторы, принадлежащие к разным размерным группам, отличаются не только массой, но и другими особенностями. Так, мини-экскаваторы, как правило, монтируются на гусеничном шасси, оснащаются бульдозерным отвалом, а их рабочее оборудование может вращаться в плане относительно поворотной платформы на угол, чуть меньший 90°. Отечественные экскаваторы имеют общий индекс ЭО и цифровое обозначение, составляемое по записи: А, Б, В, Г (А – номер группы по вместимости ковша, Б – номер группы по типу ходового оборудования, В – номер группы по типу подвески рабочего оборудования, Г – модель машины). Иногда одноковшовые полноповоротные экскаваторы условно делят на следующие группы: мини-экскаваторы – массой до 5 т, миди-экскаваторы – массой до 8 т, полноразмерные строительные экскаваторы – массой до 40 т и экскаваторы специального назначения – массой более 40 т. Полноповоротные экскаваторы, принадлежащие к разным размерным группам,

отличаются не только массой, но и другими особенностями. Так, мини-экскаваторы, как правило, монтируются на гусеничном шасси, оснащаются бульдозерным отвалом, а их рабочее оборудование может вращаться в плане относительно поворотной платформы на угол, чуть меньший 90° . Условия маркировки модели не оговорены. Некоторые российские экскаваторные заводы наряду с российской применяют индексацию машин по массе с использованием принятых в международной практике условных обозначений особенностей шасси. Стандартное экскаваторное оборудование состоит (из шарнирно соединенных стрелы, рукояти и ковша, положение которых фиксируется и изменяется гидроцилиндрами, обеспечивающими работу экскаватора).

Стрела – коробчатая сварная конструкция, усиленная накладками и ребрами жесткости в местах крепления к раме экскаватора, рукояти и штокам гидроцилиндров. Наиболее распространены моноблочные сварные стрелы, но за последние 30 лет ковш существенно конструктивно не изменился. Значительную эволюцию претерпели конструкции **зубьев ковша** и способы их крепления. Раньше в основном использовали вставные зубья. Их крепили в гнезда режущей кромки, чаще всего выполненные как единая литая деталь, что существенно удорожало и утяжеляло ковш (рис. 4.8). Сегодня наибольшее распространение получили вильчатые зубья с болтовым креплением к режущей кромке для ковшей вместимостью до $0,3 \text{ м}^3$ (рис. 4.3, в).

Полноповоротный пневмоколесный (рис. 4.8, а) или гусеничный гидравлический экскаватор (рис. 4.8, б) состоит из базовой части и рабочего оборудования. При замене последнего базовую часть обычно сохраняют в неизменном виде. Базовая часть экскаватора включает ходовую тележку с нижней рамой 3 (рис. 4.8, б), опорно-поворотное устройство 7 и поворотную платформу 6 с расположенными на ней насосно-силовой установкой, узлами гидравлической системы привода и кабиной машиниста 15. Трансмиссия ходового устройства оборудована стояночным тормозом.

Каждая из гусеничных тележек 16 (рис. 4.8, б) гусеничного экскаватора приводится в движение гидромотором и зубчатыми передачами. При совместной работе механизмов привода каждой гусеницы в одном направлении обеспечивается прямолинейное передвижение машины, а при их работе во взаимно противоположных направлениях или при работе только одного механизма и заторможенной второй гусенице – поворотное движение (относительно центра опорного контура в первом или относительно центра опорной поверхности заторможенной гусеницы – во втором случае). Во избежание произвольного отката гусеничной тележки при работе экскаватора из-за реактивных нагрузок или уклона рабочей площадки механизм привода гусениц затормаживают или стопорят.

Ходовое оборудование пневмоколёсного экскаватора (рис. 4.8, а) состоит из сварной рамы, опирающейся на два ведущих моста 2 и 4. Для работы в режиме экскавации грунта экскаватор устанавливают на откидные опоры 5, закрепленные на поперечной балке рамы за задним мостом. Чаще в качестве передней опоры для работы в том же режиме используют, кроме прямого назначения, бульдозерный отвал 1, установленный перед передним мостом и приводимый гидроцилиндром. В передней части платформа оборудована стойками-пилонами 8 (рис. 4.8, а) для шарнирного соединения с ней стрелы, а также проушинами для установки одного 9 или двух 19 (рис. 4.8, б) гидроцилиндров привода стрелы. Кабину машиниста с органами управления устанавливают с одной стороны поворотной платформы.

Рукоять – коробчатая сварная конструкция, усиленная накладками, кронштейнами и ребрами жесткости в местах крепления к стреле, ковшу и штокам гидроцилиндров [15]. Выпускаются рукояти моноблочные и раздвижные, состоящие из двух, телескопически сопряженных элементов, один из которых крепится к стреле, а второй – с рабочим органом на свободном конце, скользит внутри или по внешней грани первого с помощью гидроцилиндра.

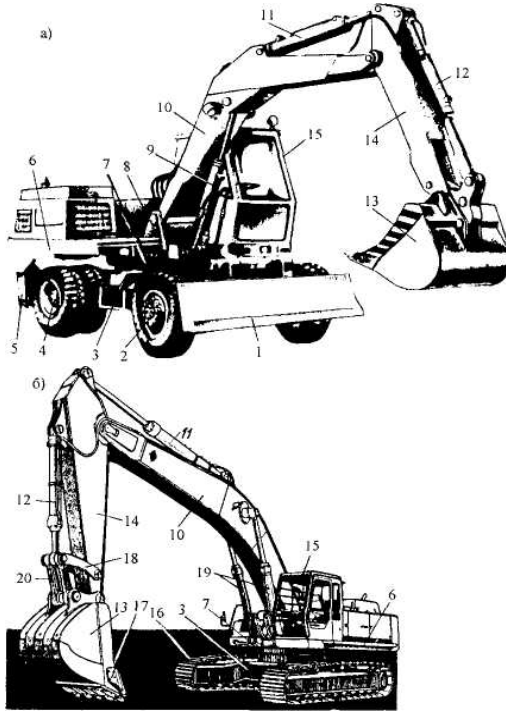


Рис. 4.8. Полноповоротные гидравлические одноковшовые экскаваторы:
а – пневмоколесный; б – гусеничный

Ковш – обычный, наиболее часто используемый рабочий орган одноковшового экскаватора, разрушающий и перемещающий грунт. При разработке прочных и скальных грунтов используют упрочненные ковши уменьшенной вместимости; грунтов II-III категорий прочности – стандартной вместимости; слабых грунтов и легких материалов – облегченные ковши увеличенной вместимости. Для обычной разработки грунтов используют ковши стандартного профиля; для зачистных и планировочных работ – уширенные ковши; для прочистки и профилирования канав – профильные ковши; для погрузки складированных сыпучих материалов – грейферные ковши; для разработки грунтов, погрузки сыпучих материалов и штучных

грузов нестандартной конфигурации, подгребания и разравнивания грунта – ковши с челюстным захватом. Использование набора ковшей и другого сменного оборудования (фрез, уплотнителей, гидромолотов, буров и т. п.) предполагает возможность быстрой замены одного рабочего органа другим, которая реализуется с помощью быстродействующего захвата. Такой захват устанавливается между рукоятью и рабочим органом и приводится в действие либо гидроприводом, управляемым из кабины, либо вручную. Основными рабочими органами гидравлических экскаваторов являются ковши обратной и прямой лопат, погрузчика, грейфера. Сменными рабочими органами, расширяющими область применения этих машин, могут быть: бульдозерные отвалы для грубой планировки земляных поверхностей, однозубые и многозубые рыхлители для рыхления прочных грунтов, пород и их прослоек, взламывания асфальтовых покрытий при ремонте автомобильных дорог, а также для корчевки пней при освоении рабочих площадок; гидромолоты для тех же работ; крановые подвески; различные модификации грейферов и захватов для работы экскаватора в режиме крана; шнековые буры для рытья колодцев небольших диаметров и др. Любой ковш имеет режущий периметр, состоящий из горизонтального и боковых вертикальных профилей, боковых стенок и днища, образованного гнутым стальным листом. Для разработки прочных грунтов используются ковши, у которых горизонтальный и боковые профили оснащены зубьями. Для копания слабых или сыпучих грунтов могут использоваться ковши с полукруглой режущей кромкой горизонтального профиля. Зубья и режущие периметры изготавливают из высокопрочных износостойчивых сталей, а система их крепления к ковшу должна обеспечивать быструю и нетрудоемкую замену. Ковш крепится к рукояти с помощью многозвенных рычажных механизмов, обеспечивающих ему необходимую подвижность. Обычно рабочее оборудование полноповоротных и неполноповоротных экскаваторов комплектуется по схеме «обратная лопата», так как в сочетании с гидроприводом она обеспечивает наибольшую универсальность машины и позволяет копать выше и ниже уровня стоянки экскаватора. Иногда конструкция рычажного механизма позволяет простой перестановкой ковша изменить компоновку рабочего

оборудования строительного экскаватора на «прямую лопату», но очертания ковшей прямой и обратной лопат отличаются, поэтому использование одного и того же ковша при разных компоновках рабочего оборудования нежелательно. У карьерных экскаваторов с прямой лопатой рабочее оборудование отличается не только компоновкой, но и способностью развивать большие напорные усилия на кромке ковша.

Грейферное оборудование считается сменным и обычно поставляется по дополнительному заказу, но так как его установка на экскаватор достаточно трудоемка, то им стараются не злоупотреблять. Грейферное оборудование с гидравлическим приводом состоит из шарнирного узла с гидравлической подводкой, подвешенного к пальцевому шарниру рукояти, и грейферного ковша с гидроцилиндром управления створками.

Совмещение рабочих движений стрелы и рукояти позволяет внедрять раскрытый ковш в дно забоя со значительным напорным усилием, что расширяет диапазон грунтовых условий, в которых он может применяться. Если грейферным оборудованием разрабатывают узкие и глубокие колодцы и траншеи, в частности, при возведении инженерных сооружений методом «стена в грунте», оно подвешивается на штанге, которая крепится либо к рукояти, либо непосредственно к стреле. Штанги грейферного оборудования могут быть телескопическими, с раздвижным гидроцилиндром либо составными, с механическим соединением секций.

Экскаваторы с разрушающим рабочим оборудованием применяются при сносе зданий и инженерных сооружений, ломке старых и фрезеровании ремонтируемых покрытий, безвзрывной разборке скальных пород. К разрушающему оборудованию относят различные виды ножниц для бетона и металлической арматуры, гидромолоты и фрезы. Ножницы захватывают и ломают бетонные фрагменты сооружений, перекусывают металлическую арматуру толщиной до 20 мм и более. Они же используются как манипуляторы для переноски и погрузки крупных кусков строительного мусора. Некоторые модели экскаваторов комплектуются ровными и длинными стрелами, более удобными при разборке высоких зданий с помощью ножниц, чем стрелы стандартной конфигурации.

Гидромолоты и фрезы навешиваются на стандартные экскаваторные стрелы. Гидромолоты используются при ломке и ремонте бетонных покрытий и фундаментов, а фрезы – при послойном фрезеровании асфальта, при этом и конфигурация стрелы и рукояти подбираются таким образом, чтобы максимально расширить размеры рабочей зоны, сохранив устойчивость и транспортабельность экскаватора. Этого удается добиться применением двухэлементных стрел и телескопических рукоятей. С помощью дополнительных гидроцилиндров взаимное положение секций двухзвенной стрелы и степень раздвижения телескопической рукояти, можно расширить рабочую зону экскаватора, увеличить высоту и глубину копания, а также вылет ковша при выгрузке. При этом габаритные размеры экскаватора не требуют его разборки при перебазировании на большие расстояния, что увеличивает среднегодовую эксплуатационную производительность машины и уменьшает эксплуатационные затраты. В ряде отраслей горной, горно-добывающей, металлургической и других отраслях Казахстана наряду с машинами для земляных работ, выпускаемыми зарубежными фирмами типа «САТ», «Komatsu» и другими, работают экскаваторы, выпущенные экскаваторными заводами России. Остановимся более подробно на конструкциях этих экскаваторов [17, 18].

Гидравлические одноковшовые полноповоротные экскаваторы в России выпускают в настоящее время несколько экскаваторных заводов: ОАО «Тверской экскаватор» (г. Тверь), ОАО «Машиностроительная компания «КРАНЭКС» (Минеево, Ивановская обл.), экскаваторный завод «Ковровец» (г. Ковров, Владимирская обл.), ОАО «ВЭКС» (г. Воронеж), НПК «Уралвагонзавод» (г. Нижний Тагил). ОАО «Тверской экскаватор» (рис. 4.9), входящее в дивизион «Спецтехника» «Группы ГАЗ», выпускает полноповоротные гидравлические экскаваторы ЕК-8, ЕК-12, ЕК-14, ЕК-18 на базе специальных пневмоколесных шасси и экскаватор 5846ТМ на шасси Урал-5557-1151-40 (6х6) максимально унифицированы по многим сборочным единицам шасси и оборудования на поворотной платформе.



Рис. 4.9. Гидравлический экскаватор ОАО «Тверской экскаватор»

Пневмоколесные экскаваторы применяют для выполнения землеройно-погрузочных работ небольшого объема на рассредоточенных объектах в промышленном, городском, сельском и дорожно-транспортном строительстве. Пневмоколесный гидравлический экскаватор ЕК-12 многоцелевого назначения комплектуется рабочим оборудованием двух исполнений: с геометрически изменяемой и моноблочной стрелой. Оба вида стрел имеют гидроразводку под сменные виды рабочих органов и быстросъемные приспособления.

Стрела изменяемой геометрии состоит из двух секций – основной, шарнирно прикрепляемой к поворотной платформе, и удлиняющей, соединяемой с основной секцией шарниром. На удлиняющую секцию стрелы навешивают сменные рабочие органы экскаватора. Удлиняющая секция изменяет свое положение относительно основной секции в вертикальной плоскости с помощью гидроцилиндра. Подъем–опускание стрелы осуществляется парой гидроцилиндров.

Изменяемая геометрия стрелы позволяет увеличить глубину копания, обеспечить прочность выполнения операций при зачистке ковшем дна траншей и котлованов, выполнять

копание колодцев и узких траншей в стесненных условиях городской застройки, а также лучше вписываться в транспортный поток при движении экскаватора своим ходом по дорогам общего назначения. Экскаватор ЕК-12 с рабочим оборудованием изменяемой геометрии широко используется в коммунальном хозяйстве при прокладке и ремонте инженерных сетей и коммуникаций различного назначения, при выполнении работ по благоустройству и в малоэтажном строительстве.

Рабочее оборудование изменяемой геометрии оснащается сменными рабочими органами: ковшами вместимостью 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,65 м³; планировочным ковшом; грейфером для копания колодцев; вставкой-удлинителем грейфера для копания глубоких колодцев; буром; рыхлителем; гидромолотом с энергией удара 1500 Дж; гидрозахватом; измельчителем бетона; гидророзрывниками; кусторезом; захватом бревен.

Ходовое устройство экскаватора ЕК-12 с изменяемой геометрией стрелы имеет оба ведущих моста (колесная формула 4х4) со спаренными колесами, механизм отключения балансирной подвески переднего моста, опорный кронштейн для грейфера, опору-отвал заднего расположения. Сменные рабочие органы экскаватора ЕК-12 с моноблочной стрелой: ковш вместимостью 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8 м³; зачистной ковш; рукоять длиной 1,9; 2,2; 2,8 м; грейфер; гидромолот с энергией удара 1500 Дж; гидроразрывники; бетонолом. Ходовое устройство экскаватора ЕК-12 с моноблочной стрелой имеет спаренные колеса заднего моста и одинарные переднего, балансирную подвеску переднего моста без механизма отключения, аутригерную балку моста с выносными опорами, опору-отвал переднего расположения; колесная формула 4х4 [17, 18].

Пневмоколесные гидравлические экскаваторы ЕК-14 и ЕК-18 конструктивно подобны, унифицированы, базируются на специальных двухосных пневмоколесных шасси (4х4) с обоими ведущими мостами и оборудованы моноблочными стрелами.

Ходовое устройство экскаваторов оснащено опорой-отвалом переднего расположения и задней аутригерной балкой с

двумя выносными гидроуправляемыми опорами. Основное рабочее оборудование гидроэкскаваторов – обратная лопата с ковшами различной вместимости; сменные рабочие органы – грейфер, рыхлитель, гидромолот МГ-300, гидронулты.

Пневмоколесный экскаватор 5846МТ на базе автомобильного шасси Урал-5557-1151-40 оснащен оборудованием – обратная лопата с ковшом вместимостью 0,65 м³, и применяется для выполнения малообъемных земляных и погрузочных работ на рассредоточенных объектах, удаленных на значительные расстояния. Скорость движения машины составляет до 70 км/ч. Рабочее оборудование смонтировано на поворотной платформе и включает моноблочную стрелу, рукоять, ковш и гидроцилиндры управления. На поворотной платформе установлены: автономная силовая установка экскаваторного оборудования; механизм поворота платформы и кабина оператора. Рама шасси снабжена четырьмя выносными гидроуправляемыми опорами.

«Машиностроительная компания «КРАНЭКС» серийно выпускает одноковшовые гусеничные универсальные гидравлические экскаваторы ЕК 230, ЕК 240LC (рис. 4.10), ЕК 270LC, ЕК 330, ЕК 400 и ЕК-450 FS, предназначенные для разработки грунтов I–IV категорий, а также предварительного разрыхления мерзлых грунтов и скальных пород.

Экскаваторы серии ЕК выполнены по единой конструктивной схеме и максимально унифицированы. Гусеничное ходовое устройство экскаваторов тракторного типа с дистанционным гидравлическим натяжением гусениц.

Регулируемые гидромоторы привода хода обеспечивают бесступенчатое изменение скорости передвижения машин (0–4,4 км/ч) или две фиксированные скорости. Движение на малых скоростях можно совмещать с выполнением рабочих операций. Редуктор механизма передвижения аналогичен редуктору механизма поворота платформы.

Экскаватор ЕК 230 был разработан на базе ЕК 220. Новая модель оснащена качественными импортными комплектующими фирм Bosch Rexroth, Deitz (ФРГ), Hydrauto (Швеция) и по своим технико-эксплуатационным параметрам полностью соответствует лучшим импортным аналогам.



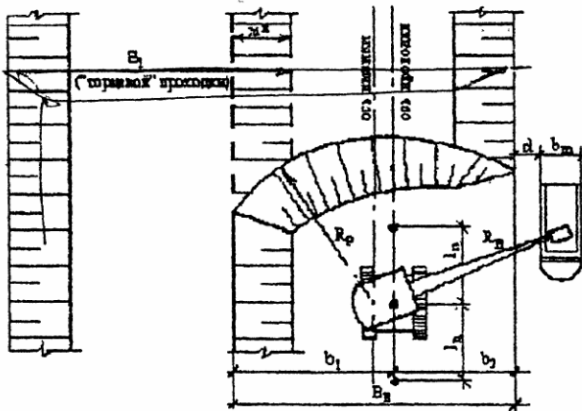
Рис. 4.10. Универсальный гидравлический экскаватор EK 240LC

Экскаваторы этого класса могут быть эффективны на различных видах земляных работ, открытых горных разработках, мелиоративных работах, при разрушении железобетонных конструкций. Небольшие габаритные размеры позволяют использовать данную модель экскаватора для работы в городских условиях. Ходовое устройство экскаватора EK 270LC может оснащаться гусеничными лентами шириной 600 и 900 мм, а также гусеничными лентами шириной 1200 мм, которые обеспечивают экскаватору сравнительно низкое давление на грунт (28 кПа) и возможность работы на слабонесущих и заболоченных грунтах. Гусеничные ленты шириной 600 и 900 мм используются при работе на твердых грунтах [18]. Основное рабочее оборудование экскаваторов EK 270LC – обратная лопата с основным ковшом вместимостью 1,2 м³. Рабочее оборудование может комплектоваться тремя видами рукоятей длиной 2,4; 3,2; 4,2 м и сменными ковшами обратной лопаты – прямоугольными вместимостью 0,6÷1,2 м³, планировочными (0,6 и 1,2 м³), профильными (1 и 1,35 м³); ковшом с откосниками (0,9 м³), и траншейным (0,3 м³) и погрузочным (2,3 м³) ковшами. На экскаваторы может быть установлено удлиненное рабочее оборудование (стрела длиной 9,6 м, рукоять 8,12 м) с радиусом копания 18,3 м и глубиной

копания до 14,7 м. Удлиненное оборудование применяется для поддержания в рабочем состоянии русел рек, выемок водоемов и каналов путем вычерпывания различных отложений и грязи и для обрезки водных растений. Для использования рабочего оборудования в режиме – прямая лопата, ковш обратной лопаты устанавливают на рукоять с поворотом на 180° относительно вертикальной оси.

Кроме экскаваторного оборудования экскаваторы ЕК270LC могут быть оснащены рыхлителями, грейфером, шнековым буром, гидромолотом. Замена сменных рабочих органов осуществляется машинистом в полевых условиях с помощью быстросъемного устройства. У экскаватора ЕК 400 серии 05 основное рабочее оборудование – обратная лопата вместимостью $1,9 \text{ м}^3$, сменное оборудование – прямоугольные ковши вместимостью $0,6 \div 1,5 \text{ м}^3$, рыхлитель и гидромолот [14].

Гидравлическая система экскаватора серии ЕК – двухпоточная, в которой рабочая жидкость от сдвоенного насоса регулируемой производительности подается в моноблочный гидрораспределитель, обеспечивающий ускоренное движение стрелы, рукояти или ковша. Схема «бокового» забоя экскаватора с обратной лопатой приведена на рис. 4.11.



Экскаваторы серии ЕК представляют собой пример тесной кооперации российского производителя и зарубежных предприятий-поставщиков оборудования и комплектующих изделий.

В качестве основного для отечественных экскаваторов до 5-ой размерной группы включительно принято рабочее оборудование обратная лопата, а для 6-ой размерной группы – прямая лопата. На экскаваторах устанавливают ковши различной вместимости: основные (типа 02), узкие (01) – меньшей вместимости, для разработки прочных грунтов и широкие (03) – большей вместимости, для слабых грунтов. Ковши всех типов имеют одинаковые размеры профильной проекции и отличаются шириной и числом устанавливаемых на их передней стенке зубьев.

Неполноповоротные (малые модели) и полноповоротные гидравлические экскаваторы являются самоходными машинами с пневмоколесным или гусеничным ходовым оборудованием. Пневмоколесные экскаваторы используют на рассредоточенных объектах с небольшими объемами работ. Благодаря высокой скорости передвижения (на порядок выше, чем у гусеничных машин), они способны преодолевать большие расстояния при смене объектов.

Гусеничные экскаваторы, обладая повышенной проходимостью, передвигаются со скоростью, не превышающей 4–6 км/ч.

Этими показателями предопределена область использования гусеничных экскаваторов – объекты с большими объемами земляных работ без специальной подготовки рабочих площадок, включая карьеры. Для перевозки этих машин на большие расстояния используют специальные транспортные средства (тяжеловозы, железнодорожный транспорт и т. п.). Погружается экскаватор на транспортное средство собственным ходом.

Малые модели пневмоколесных экскаваторов могут быть оборудованы только бульдозерным отвалом без задних откидных опор.

Колеса мостов приводятся обычно от низкомомментного гидромотора через двухскоростную коробку передач. Для

передвижения по рабочей площадке используют малую, а при межобъектных переездах – повышенную скорость.

Опорно-поворотное устройство (ОПУ) пневмоколесных и гусеничных экскаваторов, как и у кранов закрытого шарикового или роликового типа, предназначено для передачи на нижнюю раму внешних нагрузок от поворотной части экскаватора и обеспечения вращения последней. Механизм поворота состоит обычно из низкомомментного гидромотора и зубчатого редуктора, на выходном валу которого закреплена шестерня, обеспечивающая через неподвижный зубчатый венец на ОПУ вращение поворотной платформы. Известны также безредукторные устройства с высокомоментами гидромоторами. Привод поворотного механизма оборудован тормозом для полной остановки поворотной платформы в процессе экскавации, а также для ее стопорения при переездах.

Поворотная платформа выполнена в виде рамной конструкции, способной неограниченно вращаться относительно нижней рамы. Для уравнивания при работе экскаватора в ее хвостовой части устанавливают чугунный противовес. Для уменьшения последнего расположенные на поворотной платформе насосно-силовая установка и другие наиболее тяжелые агрегаты смещены в ее хвостовую часть.

Техническую производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$) одноковшовых экскаваторов как наибольшую среднюю производительность за 1 ч работы определяют по формуле:

$$P_T = \frac{3600qk_n}{k_p(t_u + t_{nep}/n_u)}, \quad (4.2)$$

где q – вместимость ковша, м^3 ; k_n – коэффициент его наполнения; k_p – коэффициент разрыхления грунта (см. табл. 2.2); t_u – продолжительность рабочего цикла, с; t_{nep} – продолжительность одной передвигки экскаватора на новую позицию, с; n_u – число рабочих циклов на одной позиции.

Продолжительность рабочего цикла определяют суммарным временем, затрачиваемым на выполнение операций с учетом совмещения отдельных рабочих движений. Так, например, если поворот платформы на разгрузку ковша

выполняется одновременно с маневровыми движениями рабочего оборудования и при этом продолжительность маневровых движений покрывается временем поворота платформы, то в расчет принимается только время поворотного движения.

Эксплуатационная производительность ($\text{м}^3/\text{сутки}$, $\text{м}^3/\text{мес}$, $\text{м}^3/\text{год}$)

$$P_{\text{э}} = P_{\text{м}} T_{\text{р}} k_{\text{в}} \quad (4.3)$$

учитывает продолжительность периода работы экскаватора $T_{\text{р}}$ (ч) и его использование во времени (при односменной работе $k_{\text{в}} = 0,2 \div 0,25$).

4.1. Гидравлические экскаваторы. Методы расчета основных технических параметров

Работоспособность конструкции, ее надежность, прочность зависят от правильного распределения нагрузок на рабочее оборудование и выбора коэффициента запаса. Известно, что 70 % энергии, расходуемой экскаватором, приходится на подъем самого рабочего оборудования и лишь 30 % – на подъем грунта в ковше.

Экскаватор является динамичной машиной, разгон и торможение поворотной платформы с рабочим оборудованием – это характерная часть рабочего цикла. Поэтому минимизация массы элементов рабочего оборудования и энергоемкости операций цикла представляет собой актуальную задачу [16, 19].

Рабочее оборудование экскаватора позволяет осуществлять несколько независимых движений: поворот стрелы относительно платформы, поворот рукояти относительно стрелы, поворот ковша относительно рукояти. В более сложных схемах навески рабочего оборудования количество степеней свободы может быть более трех, возможно пространственное манипулирование рабочим органом. Упор ковша в непреодолимое препятствие может произойти при различном положении элементов рабочего оборудования. При этом в зависимости от положения, меняются плечи сил, направления линий действия и их величины. В результате независимых

движений можно получить бесконечно большое число различных положений элементов оборудования в пространстве.

Трудности в выборе расчетных положений и сочетаний нагрузок, по которым с большей степенью достоверности можно вести расчет на прочность, определяются также следующими причинами:

- напряжения в элементах рабочего оборудования зависят от величины и направления внешних сил, от положения элементов в пространстве и относительно друг друга;
- основная внешняя нагрузка на рабочее оборудование – сопротивление перемещению режущей кромки – бывает наибольшей при встрече ковша с непреодолимым препятствием и может быть направлена под любым углом к направлению движения режущей кромки. Величина этой нагрузки зависит от ее направления;
- максимальные напряжения в различных элементах и даже в разных сечениях одного элемента возникают одновременно;
- число положений элементов рабочего оборудования и нагрузки может составлять несколько тысяч (если определять его количеством сочетаний углов наклона стрелы, рукояти, ковша и нагрузки при изменении каждого из углов с шагом 20°).

Рабочее оборудование экскаватора (рис. 4.12) представляет собой многозвенный механизм, состоящий из m твердых тел (звеньев), образующих n вращательных или поступательных пар. Обозначим номер каждого тела через i : $0 \leq i \leq m$. Нулевой номер присваивается обычно основанию (неподвижной опоре). Для экскаватора таковой может быть поворотная платформа.

Рассматриваемое оборудование – обратная лопата – обладает тремя степенями свободы, положение его элементов (стрелы, рукояти, ковша) определяется функцией трех угловых координат: α_1 , α_2 , α_3 (рис. 4.12). Положительное значение угловых координат соответствует положению вращающегося против часовой стрелки радиус-вектора. Эти три обобщенные координаты определяют координаты любого шарнира или расчетной точки рабочего оборудования экскаватора в основной системе координат Oxy , совмещенной с опорной поверхностью (грунтом) и осью вращения поворотной платформы.

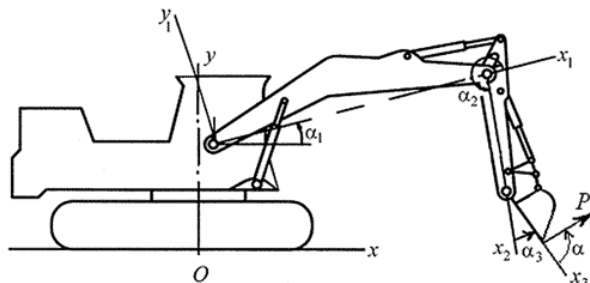


Рис. 4.12. Экскаватор как многозвенная механическая система

Локальные системы координат стрелы, рукояти и ковша связаны с соответствующим опорным или соединительным шарниром. Каждая ось x_i повернута относительно предшествующей системы координат (оси x_{i-1}) соответственно на угол α_i . Перемещение i -й системы относительно $(i-1)$ -й характеризует движение i -го звена относительно $(i-1)$ -го.

Каждому соединительному шарниру (или расчетной точке) присвоим номер j ($1 \leq j \leq n$). Условимся, что начало локальной системы координат i -го тела выбирается в шарнире с номером $j = i$. Нумерация остальных шарниров (от $(m + 1)$ до n) произвольна.

Например, оборудование (рис. 4.12) включает восемь тел и 11 шарниров ($m = 8, n = 11$, гидроцилиндр считается одним телом переменной длины). Каждое тело имеет хотя бы один шарнир с номером $j = i$.

Приведенная нумерация тел и шарниров используется для автоматизированной «сборки» уравнений кинематического и силового анализа оборудования.

4.1.1. Выбор нагрузки на ковше экскаватора

Расчет элементов рабочего оборудования на прочность выполняют для случая наиболее неблагоприятного сочетания нагрузок на элементы оборудования при упоре ковша в непреодолимое препятствие. Реакция препятствия приложена к режущей кромке ковша, направлена относительно локальной системы координат ковша под углом $\alpha = 0 \div \pi$. Следовательно:

$$P = \frac{P_{01}}{\sin \alpha}, \quad (4.4)$$

где P_{01} – сила копания, касательная к траектории режущей кромки ковша создаваемая движущим гидроцилиндром (рис. 4.13)

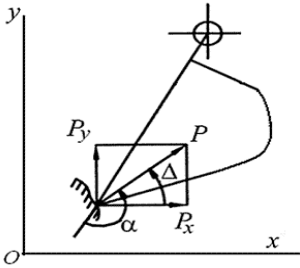


Рис. 4.13. Определение силы копания при упоре ковша в непреодолимое препятствие

Проекция силы P на оси Ox и Oy основной системы координат:

$$Px = P \cos \Delta;$$

$$Py = P \sin \Delta.$$

Одна из задач расчета – определение значения угла Δ , при котором элементы рабочего оборудования испытывают наибольшие нагрузки (напряжения). Заметим, что теоретически при $\alpha \rightarrow 0$ и $\alpha \rightarrow \pi$ сила $P \rightarrow \infty$. Для реальной конструкции это условие не выполняется. Во-первых, рабочее оборудование не является абсолютно жесткой системой, а во-вторых, устойчивость экскаватора и другие факторы (они рассмотрены ниже) ограничивают величину силы P .

Таким образом, величину реакции препятствия P следует определить с учетом характеристики движущего гидроцилиндра, ориентировки силы P относительно ковша, а также действующих ограничений.

4.1.2. Ограничение силы P по условию устойчивости экскаватора

При анализе устойчивости экскаватора учитывается изменение координат режущей кромки ковша и ориентировки

силы P относительно ковша. Опрокидывающий момент (и саму возможность опрокидывания) оценивают для любого сочетания углов α_i . Учитываются также перемещения центров тяжести стрелы, рукояти, ковша и машины в целом в процессе выполнения рабочих операций.

4.1.3. Ограничение силы P по условию сдвига экскаватора

При достаточно большой величине силы P_x может произойти сдвиг машины относительно опорной поверхности (грунта). При этом учитывается наличие силы P_y , которая, в зависимости от направления, может увеличивать или уменьшать сцепной вес экскаватора.

Имеют место ситуации, когда сдвиг экскаватора невозможен при любой величине нагрузки P . Это наблюдается в тех случаях, когда сила P находится в пределах конуса трения.

4.1.4. Ограничение силы P по величине давления в запертых гидроцилиндрах

В рабочих полостях движущего гидроцилиндра давление (активное) определяется параметрами насосной установки или настройки предохранительного клапана. В запертых гидроцилиндрах рабочего оборудования возникает реактивное (пассивное) давление, наибольшая величина которого также ограничена настройкой клапана. При возникновении давлений, превышающих настройку предохранительных клапанов, жидкость дросселируется через клапан. Шток гидроцилиндра перемещается (если он не находится в одном из крайних положений). Нагрузка на рабочий орган экскаватора таким образом ограничивается.

Наибольшую нагрузку P для каждого положения ковша определяют путем последовательного использования алгоритмов оценки предельного давления в запертых гидроцилиндрах, устойчивости и сдвига экскаватора.

В качестве критерия при выполнении прочностных расчетов для случаев сложного напряженного состояния металлоконструкций обычно принимают напряжения по Мизесу

(σ_{np}). Расчет σ_{np} предлагается выполнять двумя способами: по упрощенным зависимостям, известным из курса сопротивления материалов, и по методу конечных элементов (МКЭ) на основе САЕ-системы. Первый способ обеспечивает экономию времени, второй – большую точность расчетов.

Упрощенная методика расчета напряжений в элементах оборудования может быть использована для предварительного анализа нагруженности и поиска расчетных положений. Под расчетными положениями здесь понимается конкретное значение вектора α_i , соответствующее наибольшим напряжениям в расчетном сечении элемента рабочего оборудования. Эта задача может быть формализована следующим образом: определить координаты элементов рабочего оборудования α_1 , α_2 и α_3 и положение силы P относительно ковша, при которых в рассматриваемом элементе оборудования возникают максимальные напряжения:

$$\bar{\alpha} = \arg \max_{\alpha \in G} \sigma_{np}(P, \alpha_i, \varepsilon), \quad \varepsilon \in E = \{\varepsilon_i\}_{i=1,2,3,4}, \quad (4.5)$$

где E – множество неопределенностей, состоящее из четырех элементов: ε_1 , ε_2 , ε_3 , ε_4 .

Элементы множества E должны соответствовать вероятности работы элементов оборудования в конкретных диапазонах изменения α_i или должны быть оценены экспертно (например, соответствующими функциями принадлежности).

Опыт применения данной методики поиска расчетных положений показал, что существует ряд расчетных положений (сочетаний значений координат α_i), когда рассмотренные выше ограничения по устойчивости и протаскиванию машины, по настройке предохранительных клапанов гидросистемы не действуют. В этих неблагоприятных сочетаниях α_i возможно значительное возрастание силы P при $\alpha \rightarrow 0$, п. Принимать ли эти положения в качестве расчетных? При положительном ответе на вопрос придется согласиться со значительным возрастанием массы рабочего оборудования. При отрицательном ответе ряд расчетных положений игнорируется, а это означает, что степень обоснованности принятых конструктивных решений не равна единице. С учетом множества неопределенностей на этапе проектирования становится возможным принятие решений на

основе детерминированных расчетных зависимостей в сочетании с вероятностными характеристиками рабочего процесса (и другой дополнительной информацией) с известной степенью обоснованности.

Напряженно-деформированное состояние металлоконструкции машины может быть оценено на основе метода конечных элементов. Де-факто МКЭ стал стандартом при выполнении прочностных расчетов.

Реализация МКЭ для прочностного расчета рабочего оборудования не связана с какими-либо принципиальными трудностями (рис. 4.14). Сложности начинаются при поиске расчетных положений элементов оборудования в соответствии с формулой для определения α , если число таких положений превышает несколько десятков. При тактовой частоте процессора не менее 1 ГГц на анализ рукояти в одном положении машина затрачивает около получаса (это время зависит от густоты сетки, типа конечных элементов и др.).

Поскольку для некоторых элементов рабочего оборудования необходимая мощность множества равна $|G| > 10^3$, использование МКЭ в этих задачах исключается в связи с катастрофическим ростом затрат машинного времени. Поэтому предварительный поиск расчетных положений рекомендуется выполнять по упрощенной методике, а в ограниченной области изменения α_i расчет производят с помощью МКЭ.

На рис. 4.14 представлены основные процедуры работы с виртуальной моделью рабочего оборудования экскаватора. Трехмерная модель экскаватора четвертой размерной группы выполнена в среде SolidWorks. Модель рабочего оборудования была импортирована в visual NASTRAN, где оценивалось напряженно-деформированное состояние элементов рабочего оборудования.

Наиболее нагруженное сечение рукояти в зоне шарнира соединения ее со стрелой соответствует расчетному положению, показанному на рис. 4.14, в: стрела находится в нижнем положении, рукоять максимально отвернута, сила копания при упоре ковша в непреодолимое препятствие проходит в пределах опорной площади гусеничного хода. В данном положении не действуют факторы, ограничивающие силу копания на режущей кромке ковша.

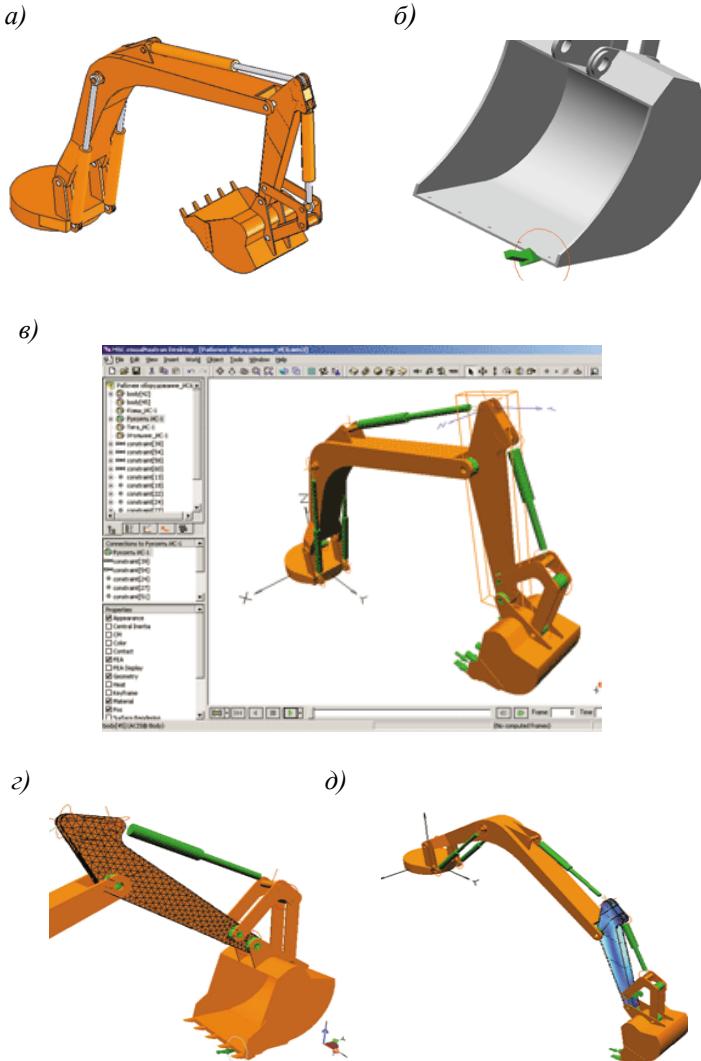


Рис. 4.14. Виртуальная модель экскаватора четвертой размерной группы и ее использование в составе САЕ-системы: а и б – 3D-модель экскаватора и рабочего оборудования в среде SolidWorks; в – схема формирования нагрузки на ковше; г и д – модель оборудования в visual NASTRAN

Рассмотренные методические положения взяты из практики проектирования рабочего оборудования экскаваторов [5] и диссертационных работ, выполненных в Казахском национальном техническом университете им. К. И. Сатпаева под руководством авторов этой книги. При этом реализован полный цикл анализа конструкций: разработка геометрии конструкции – геометрическое моделирование; задание характеристик материалов элементов конструкции; выбор типов конечных элементов и ввод их параметров; разбиение конструкции на конечные элементы; задание граничных условий; формирование системы нагрузок, задание их значений или функциональных зависимостей от параметров модели; проверка корректности модели; расчет конструкции; анализ результатов расчета, форматирование их представления; вывод результатов на принтер, запись в файл или копирование в отчетные документы. Наиболее ответственная процедура – импорт трехмерной твердотельной модели (сборки) в расчетную среду visual NASTRAN. В среде SolidWorks задаются сопряжения между деталями. При импортировании файлов они преобразуются во взаимосвязи. Коррекция этих преобразований проверяется стандартным инструментом Constraint Navigator, при внимательном отношении к которому конфликтов не возникает.

Наиболее ответственная процедура – импорт трехмерной твердотельной модели (сборки) в расчетную среду visual NASTRAN. В среде SolidWorks задаются сопряжения между деталями. При импортировании файлов они преобразуются во взаимосвязи. Коррекция этих преобразований проверяется стандартным инструментом Constraint Navigator, при внимательном отношении к которому конфликтов не возникает.

Кабины экскаваторов оборудуются гидроопорами Simrit, уменьшающими вибрацию и креслом Grammer (ФРГ) с эргономичным профилем и широким диапазоном регулировок. Органы и блоки управления с низким усилием на рычагах и педалях поставляются фирмой Bosch Rexroth (ФРГ). Многофункциональный цветной монитор обеспечивает возможность выбора режимов работы и управления и позволяет произвести предпусковую диагностику систем экскаватора.

С целью предотвращения работы оборудования экскаватора в аварийном режиме на мониторе установлена панель приборов, включающая в себя указатели температуры охлаждающей и рабочей жидкости, уровня топлива, давления масла в двигателе, а также индикаторы аварийной, предупредительной и информационной сигнализации, которые позволяют контролировать основные рабочие параметры двигателя, гидросистемы и электропитания бортовой сети. Антибликовая поверхность монитора обеспечивает хорошую распознаваемость индикаторов даже в дневное время, а группировка индикаторов по группам помогает оператору быстро ориентироваться в сложившейся ситуации. Кабины также оснащаются отопителем Eberspacher (ФРГ) [18, 19].

Экскаваторный завод «Ковровец», входящий в «Группу ГАЗ», в начале 2007 года обновил свой модельный ряд: ЭО-4225А-06 с грейферным захватом, ЭО-4225А-07 (рис. 4.15) с новой кабиной и первой машины из нового семейства «КиТ» (Ковров и Тверь).

КиТ-26 разработан с учетом пожеланий производителей, полученных в ходе эксплуатации предшествующих данной модели экскаваторов – ЕТ-25 производства «Тверского экскаватора» и ковровского завода.



Рис. 4.15. Экскаватор гидравлический ЭО-4225А-07

Все экскаваторы оснащены полным комплектом импортного гидрооборудования: агрегатным насосом, гидрораспределителем, гидромоторами хода и поворота. Гидромоторы хода фирмы Bosch Rexroth обеспечивают повышенную надежность экскаватора при передвижении, а также необходимое тяговое усилие при преодолении подъемов и при выполнении поворотов. Все элементы металлоконструкций выполняются только из низколегированной стали, что обеспечивает их повышенную прочность и долговечность. Конструктивные элементы, испытывающие в процессе работы повышенные нагрузки, изготавливаются из высокопрочной стали 10 ХСНД. Для производства ковшей используются шведская сталь марок Hardox-400 и Weldox-500 и, обладающие повышенной прочностью и износостойкостью.



Рис. 4.16. Экскаватор КиТ-26

За счет ряда конструкторских нововведений значительно улучшены технические характеристики экскаватора. Новая модель унаследовала от ЭО-4225А-07 простую и надежную ходовую тележку и планетарный механизм поворота платформы. Модернизации подверглись гидромоторы ходовых и поворотных механизмов в части применения встроенных предохранительно-подпиточных клапанов. Кабина КиТ-26 (рис. 4.16) отличается высоким уровнем комфорта, обеспечивает хорошую обзорность, имеет высокие виброзащищенность и шумоизоляцию, оснащается

отопительной системой Zenit 8000 (ФРГ) с электронным контролем температуры [19]. Кабина комплектуется поддрессоренным сиденьем с регулировкой жесткости в зависимости от массы оператора. Сидение имеет продольную и вертикальную регулировки, а также регулировку угла наклона спинки. Для автоматического контроля текущего состояния в кабине экскаватора устанавливается блок контроля параметров (БКПЭД), предупреждающий о предельных отклонениях значений систем машины. Все эти достоинства значительно снижают усталость и увеличивают производительность оператора во время работы. КиТ-26 комплектуется двигателем ЯМЗ-236М мощностью 180 л.с. (134 кВт). Для быстрого запуска двигателя на КиТ-26 устанавливается предпусковой подогреватель Hydronik-10.

В гидросистеме экскаватора применяются высокопрочные трубопроводы и надёжные рукава высокого давления. Компоновка гидравлических агрегатов производства ПСМ (Екатеринбург) отвечает условиям минимального расстояния для потоков жидкости, что значительно увеличивает эффективность работы всей гидросистемы.

Применяются английские двигатели Perkins или немецкие Deutz, гидромоторы хода и поворота, немецкого гидронасоса Bosch-Rexroth. В базовой комплектации на КиТ-26 устанавливается ковш обратной лопаты емкостью 1,25 м³, зубья которого изготовлены из низколегированных сталей повышенной прочности. По желанию клиента, на экскаватор может устанавливаться различное рабочее оборудование: ковши от 0,8 до 1,42 м³; профильные ковши; удлиненная рукоять; зуб-рыхлитель; захват-рыхлитель; копающий грейфер; гидравлические ножницы и молот.

Для обеспечения надежной работы рабочего оборудования экскаватора была изменена конструкция стрелы, рукояти и ковша: стыковые листы заменены на цельные; изменена технология сварочных работ; количество сварных швов в рабочем оборудовании оптимизировано и сведено к минимуму; усилены катеты сварных швов, введены ребра жесткости; усилена рукоять в месте соединения со стрелой и введена внутренняя сварка рёбер переднего кронштейна в оголовке рукояти. В конструкции рабочего оборудования применены

силовые гидроцилиндры с демпфирующими устройствами в крайних точках хода.

Воронежский экскаваторный завод ОАО «ВЭКС» (рис. 4.17) выпускает одноковшовые полноповоротные гидравлические экскаваторы двух размерных групп: пневмоколесный четвертой размерной группы ВЭКС 20К и гусеничные экскаваторы пятой и шестой размерных групп ВЭКС 30L, ЭО-5225 и ЭО-6123А.

Пневмоколесный полноповоротный гидравлический экскаватор ВЭКС 20К четвертой размерной группы предназначен для разработки грунтов I–IV категорий, погрузки сыпучих материалов, предварительно разрыхленных мерзлых фунтов и скальных пород с крупностью кусков не более 200 мм, а также для малообъемных планировочных работ. Экскаватор используется на рассредоточенных объектах промышленного, городского и сельского строительства при температуре $-40...+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Рис. 4.17. Пневмоколесный полноповоротный гидравлический экскаватор ВЭКС 30L

Основное рабочее оборудование экскаватора-планировщика ВЭКС 20К – обратная лопата с основным ковшом номинальной вместимостью $1,05\text{ м}^3$. На экскаваторе предусмотрена возможность установки совмещенного оборудования обратная лопата с уменьшенным ковшом и зуборыхлителем. В зависимости от разрабатываемого фунта возможна установка ковшей различной вместимости.

Для выполнения планировочных работ ходовое устройство машины оборудовано бульдозерным отвалом переднего расположения, который при копании фунта ковшом используют в качестве дополнительной опоры.

Ходовое устройство экскаватора состоит из ходовой рамы и двух поворотных управляемых мостов с ведущими мотор-колесами. Каждое колесо приводится во вращение от регулируемого гидромотора через двухступенчатый планетарный редуктор, что позволяет регулировать скорость передвижения экскаватора в широком диапазоне и обеспечить высокую проходимость машины. На ходовой раме установлен бульдозерный отвал и две выносные опоры. С ходовой рамой поворотные мосты соединены шарнирно через роlikовое опорно-поворотное устройство. Поворот мостов относительно ходовой рамы осуществляется гидроцилиндрами с подводкой рабочей жидкости от рулевой колонки и насосов системы управления. Синхронный поворот обоих мостов обеспечивается тягой, образующей вместе с тягами мостов «обратный» параллелограмм. С ходовой рамой через роlikовый опорно-поворотный круг диаметром 1400 мм соединена поворотная платформа, на которой размещены рабочее и силовое оборудование, кабина машиниста с пультом управления, узлы гидропривода, электрооборудование и механизм поворота платформы. Вращение поворотному валу с обегаящей шестерней сообщается от гидромотора через двухступенчатый планетарный редуктор с дисковым тормозом. Элементы гидросистемы на поворотной платформе и ходовой тележке соединены центральным многоканальным коллектором.

Для привода рабочего оборудования, механизма поворота платформы и передвижения машины используются два аксиально-поршневых регулируемых гидронасоса. Привод системы сервоуправления и рулевого управления поворотными мостами обеспечивают два нерегулируемых гидронасоса. ВЭКС 20К комплектуется гидравлической системой немецкого производства фирмы Bosch Rexroth.

Гусеничный экскаватор ВЭКС 30L (рис. 4.17) отличается от своего предшественника экскаватора ЭО-5126 возможностью установки рабочего оборудования с прямой лопатой с ковшом

вместимостью 1,6 м, а также ковшом с обратной лопатой вместимостью $1,25 \div 1,45 \text{ м}^3$ для разработки грунтов I и II категорий. Экскаватор, по желанию заказчика, может оснащаться гидравликой немецкой фирмы Bosch Rexroth с максимальным рабочим давлением 28 МПа.

Гусеничный экскаватор ЭО-5225 (рис. 4.18) аналогичен по конструкции экскаватору ВЭКС 30L и предназначен для разработки грунтов I–IV категорий, погрузки предварительно разрыхленных скальных пород и мерзлых грунтов с кусками крупностью не более $1/3$ ширины ковша.



Рис. 4.18. Гусеничный экскаватор ЭО-5225

Двухпоточный гидропривод с автоматическим суммированием потоков осуществляет как любое одно движение рабочего оборудования, так и (благодаря автоматическому разделению потоков) одновременно два движения рабочего оборудования и поворот платформы. Особенностью управления является возможность безопасного опускания стрелы с помощью педали из кабины машиниста. Поворот платформы осуществляется гидромотором через двухступенчатый планетарный редуктор с дисковыми тормозами. Ходовое устройство экскаватора ВЭКС 30L может оснащаться гусеничными лентами шириной 600 и 900 мм (болотоходный вариант). Большое тяговое усилие (225 кН) обеспечивает передвижение машины в самых тяжелых условиях. Сменное рабочее оборудование экскаватора представлено 16-ю возможными видами, включая грейфер, рыхлитель, гидромолот с энергией удара до 6 кДж, ковши различной вместимости и т. п.

Основное рабочее оборудование экскаватора – обратная лопата с ковшом вместимостью 1,85 м³. Рабочее оборудование прямая лопата может комплектоваться ковшом вместимостью 2,0 м³ для разработки тяжелых грунтов. Оборудование монтируется на верхнее отверстие поворотной платформы, что позволяет увеличить высоту копания и высоту выгрузки, а в сочетании с повышенной мощностью дизельного двигателя и насосной установки дает возможность увеличить его техническую производительность на 30÷35 %. На экскаватор можно устанавливать 12 видов сменного рабочего оборудования.

Экскаватор ЭО-5225 оснащается как отечественной, так и импортной гидравликой производства фирмы Bosch Rexroth (как у ВЭКС ЗОЛ). Ходовое устройство экскаватора включает ходовую раму, на которой установлены два привода хода, механизм сдвигания с устройствами для натяжения гусеничных лент, катки и гусеничные ленты. Привод хода состоит из планетарного редуктора с дисковыми тормозами. Поворотная платформа устанавливается на ходовую раму через роlikовое опорно-поворотное устройство диаметром 1900 мм.

Экскаватор оснащен комфортной экологически защищенной кабиной оператора, оборудованной креслом-пультом со встроенными мини-колонками управления фирмы Bosch Rexroth. Интересную конструкцию экскаватора с дополнительным отвалом имеют экскаваторы с Нижнего Тагила (рис. 4.19).



Рис. 4.19. Экскаваторы из Нижнего Тагила

Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод» им. Ф. Э. Дзержинского выпускает гусеничные гидравлические экскаваторы ЭО-5126, гусеничные экскаваторы ЭО-4126 (модернизированный вариант экскаватора ЭО-5126) и универсальные полноповоротные гидравлические экскаваторы ЭО-33211 на пневматическом ходу.

В конструкции экскаватора ЭО-4126 использованы гусеничная тележка, рабочее оборудование, основные узлы поворотной платформы экскаватора ЭО-5126. На экскаваторе ЭО-4126 установлен двигатель ЯМЗ-236М2-26 мощностью 132 кВт и гидроцилиндры рабочего оборудования с поршнем диаметром 160 мм. У экскаватора ЭО-4126 улучшена обзорность кабины оператора, а масса машины снижена на 3 т по сравнению с прототипом. Экскаваторы ЭО-4126 и ЭО-5126 предназначены для разработки немерзлых грунтов I–IV категорий, а также предварительно разрыхленных мерзлых и скальных пород с кусками крупностью не более 500 мм.

Сменное рабочее оборудование экскаваторов: зубрыхлитель, ковш-перевертыш (1,45 м³), погрузочный ковш для сыпучих материалов (1,7 м³), усиленный ковш (1,25 м³), узкий ковш (0,8 м³).

Универсальный пневмоколесный экскаватор ЭО-33211 предназначен для разработки немерзлых грунтов I–IV категорий и предварительно разрыхленных мерзлых грунтов и скальных пород с кусками крупностью не более 200 мм. На базе серийного экскаватора ЭО-33211 выпускаются: коммунальная машина ЭО-33211К и экскаватор-планировщик ЭТ-1 (рис. 4.20).

Коммунальная машина ЭО-33211К предназначена для выполнения ремонтно-восстановительных работ инженерных сетей и сооружений коммунального хозяйства. Машина в отличие от базового экскаватора снабжена насосной и сварочной установками. Насосная установка с подачей 100 м³/ч, напором 20 м и допустимой высотой всасывания 7 м используется для откачивания воды из траншей и котлованов при выполнении строительно-монтажных и ремонтно-восстановительных работ.



Рис. 4.20. Коммунальная машина ЭО-33211К

Строительные экскаваторы предназначены для разработки грунтов до IV категории включительно без предварительного разрыхления, а также более прочных грунтов, включая мерзлые и скальные, после их разрыхления другими средствами.

Гидравлическая система (рис. 4.21), наиболее распространенная в экскаваторах, включает масляный бак 1, двухпоточный регулируемый аксиально-плунжерный насос 2, два блока гидрораспределителей 3 и 4, гидравлические цилиндры привода стрелы 9 и 10, рукояти 8 и ковша 11, гидромоторы привода поворотной платформы 7 и привода двух гусеничных 5 и 6 или только одного пневмоколесного движителей, калорифер 12 для охлаждения отработавшей рабочей жидкости, фильтры 13 для ее очистки, гидролинии, предохранительные, переливные и обратные клапаны, центральный коллектор для подачи рабочей жидкости от источников на поворотной платформе к гидромоторам ходового механизма на неподвижной нижней раме.

Насос обеспечивает подачу рабочей жидкости по двум независимым напорным магистралям к двум блокам гидрораспределителей, от которых она поступает либо к двум исполнительным гидродвигателям (гидроцилиндрам или гидромоторам), либо, после объединения двух потоков – к одному из них. Обычно потоки объединяются при выполнении наиболее энергоемкой операции рабочего цикла экскаватора – копания. На всех других операциях реализуется двухпоточная схема подачи рабочей жидкости к исполнительным

гидродвигателям, обеспечивающая два независимых совмещаемых во времени рабочих движения (подъем или опускание стрелы с одновременным поворотом рукояти или ковша, одновременный поворот рукояти и ковша и т. п.). Качающие узлы насоса управляются автоматически установленным на нем регулятором мощности, стабилизирующим потребляемую мощность за счет изменения подачи насоса: возрастающей при убывании внешнего сопротивления, а, следовательно, падении давления рабочей жидкости в напорных магистралях и убывающей при возрастании внешнего сопротивления (давления рабочей жидкости). Так как подача связана со скоростью рабочего движения прямой пропорциональной зависимостью, то использование такой схемы регулирования приводит к сокращению продолжительности рабочих движений, операций и рабочего цикла в целом и, в конечном счете – к увеличению производительности экскаватора.

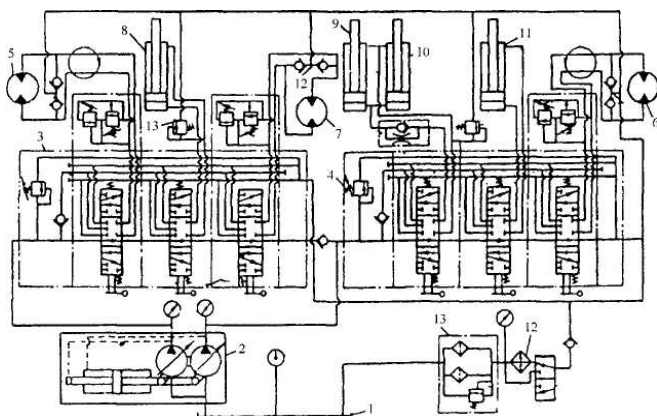


Рис. 4.21. Принципиальная гидравлическая схема гусеничного одноковшового экскаватора

Обычно в приводе рукояти и ковша устанавливают по одному гидроцилиндру. В приводе же стрелы могут быть как один (обычно для экскаваторов малой мощности 2-й и 3-й, иногда 4-й размерных групп), так и два гидроцилиндра (на экскаваторах 4-й и последующих размерных групп).

Рабочее оборудование **обратная лопата** (см. рис. 4.22) включает последовательно соединенных между собой шарнирами стрелу 10, рукоять 14 и ковш 13. Стрела, кроме того, шарнирно соединена с поворотной платформой [8, 11].

Вместе с последней элементы рабочего оборудования образуют шарнирно-рычажный четырехзвенный механизм, позволяющий занимать ковшу и режущим кромкам его зубьев различные положения в пределах рабочей зоны экскаватора на всех операциях его рабочего цикла. Рабочее оборудование обратной лопаты предназначено для разработки грунтов в основном ниже уровня стоянки экскаватора.

Стрела может быть моноблочной (см. рис. 4.14, а) и составной (рис. 4.22), состоящей из двух секций: корневой 1, шарнирно соединенной с поворотной платформой, и удлиняющей 3, соединяемой с корневой секцией болтами или шарниром и ригелем 2, перестановкой которого в проушины 4 на удлиняющей секции можно изменять расстояние между концевыми шарнирами стрелы. Чаще составными стрелами комплектуют универсальные экскаваторы.

При замене рабочего оборудования обратной лопаты на прямую сохраняют только корневую секцию, а удлиняющую секцию либо используют в качестве рукояти прямой лопаты, соответственно перемонтировав ее, либо заменяют новой.

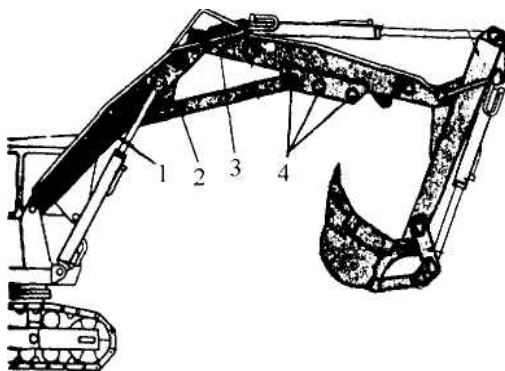


Рис. 4.22. Гидравлический экскаватор с составной стрелой обратной лопаты

Моноблочная стрела (см. рис. 4.14, а) имеет коробчатое поперечное сечение, обычно с разнесенными шарнирами для соединения с поворотной платформой и вилкой на противоположном конце, в ее головной части, для соединения с рукоятью. Стрелу поднимают и опускают одним (см. рис. 4.22) или двумя (см. рис. 4.8, б) гидроцилиндрами, шарнирно соединенными с ней и с передней поперечной балкой поворотной платформы.

Рукоять, также коробчатого поперечного сечения, приводится гидроцилиндром 11 (см. рис. 4.8). На экскаваторах можно устанавливать различные по длине рукояти и удлиняющие секции стрелы.

Ковш в форме емкости, открытой с одной стороны, с зубьями, установленными в карманы на передней стенке, или без них (для разработки легких грунтов), соединен с рукоятью шарнирно в ее головной части и приводится шарнирно установленным одним концом на рукояти гидроцилиндром 12 непосредственно (см. рис. 4.8, а) или через шарнирно-рычажный механизм (см. рис. 4.8, б), состоящий из коромысла 18 и тяги 20 и выполняющий функцию мультипликатора.

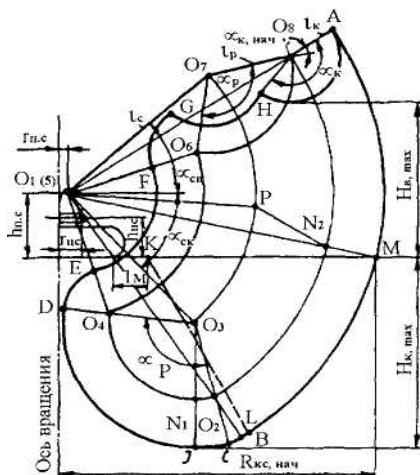


Рис. 4.23. Осовой продольный профиль рабочей зоны гидравлического экскаватора с рабочим оборудованием обратная лопата

Для предупреждения заклинивания ковшей в траншее на их боковых стенках устанавливают, кроме того, подрезные зубья 17. Кроме обычных экскавационных ковшей (основных, широких и узких) на экскаваторе могут быть установлены ковши для дренажных работ по форме профиля очищаемой выемки [9, 13].

В зависимости от сочетаний рабочих движений (поворота ковша, рукояти и стрелы, а также вращательного движения поворотной платформы) режущие кромки зубьев ковша могут занимать различные положения в пространстве, совокупность которых называют *рабочей зоной* экскаватора. Рабочая зона полноповоротного экскаватора представляется частью пространства, ограниченного тороидальной поверхностью, радиальное сечение которой, называемое *осевым продольным профилем рабочей зоны*, представлено на рис. 34. По осевому профилю определяют *рабочие размеры*: максимальную глубину копания $H_{\text{к. max}}$, радиус копания на уровне стоянки экскаватора $R_{\text{кс. max}}$ и высоту выгрузки $H_{\text{в. max}}$. Подземная часть рабочей зоны реализуется лишь частично в связи с тем, что по условиям безопасности ведения работ СНиП разрешают копать грунт не ближе 1 м к опорному контуру экскаватора при внутреннем откосе KL , составляющем с горизонтом угол от 45° (при глубине выемки 3 м и более в песчаных и влажных гравийных грунтах) до 90° (при глубине до 1,5 м в суглинистых, глинистых и лесовидных грунтах).

Для каждой модели экскаватора существует своя оптимальная (по производительности) глубина копания, равная примерно $2/3$ максимальной кинематической глубины копания $H_{\text{к. max}}$. В числе прочих факторов она определяется условиями разработки наибольшего объема грунта с одной стоянки экскаватора, соответствующими минимальному числу его передвижек, а, следовательно, минимуму затрат времени на подготовку машины к передвижке и на ее установку на новой позиции. Этот фактор особенно важен для пневмоколесных экскаваторов из-за необходимости поднимать выносные опоры перед передвижкой и опускать их на новой позиции.

Копают грунт либо поворотом рукояти при фиксированном на ней ковше – от дна выемки вверх, либо поворотом ковша при

фиксированной стреле и рукояти, либо совместным поворотом рукояти и ковша. Чаще всего используют первый способ. В конце операции копания для предотвращения от просыпания грунта из ковша на следующей транспортной операции ковш подворачивают к рукояти, после чего рабочее оборудование поднимают стреловым гидроцилиндром. Поворотное движение платформы начинают после того как рабочее оборудование будет выведено из выемки. Одновременно с подъемом стрелы маневровыми движениями рукояти и ковша добиваются установки последнего в конце поворота платформы в положение выгрузки [14].

Разгружают грунт отворотом ковша от рукояти. Различают разгрузку в отвал и в транспортное средство. В первом случае эта операция не требует полной остановки платформы – разгрузку начинают в конце поворотного движения в прямом направлении и заканчивают в начале возвратного вращения. Во втором же случае, во избежание просыпания грунта при его разгрузке, требуется четкая координация ковша относительно кузова транспортного средства. Для этого платформу останавливают и включают на возвратное вращение только после полной выгрузки ковша. Разгрузка в транспортное средство требует большего времени, чем разгрузка в отвал, а, следовательно, она менее производительна по сравнению с последней.

После разгрузки ковша операция возврата рабочего оборудования на исходную позицию для следующего рабочего цикла аналогична операции транспортирования грунта на разгрузку, но выполняется в обратной последовательности указанных движений.

После отработки элемента забоя в пределах допустимой строительной нормы и правил (СНиП) части рабочей зоны экскаватора, последний перемещают на новую стоянку (позицию), предварительно сориентировав рабочее оборудование вдоль гусениц. При межпозиционных передвижках пневмоколесных экскаваторов, кроме того, требуется поднять выносные опоры и бульдозерный отвал, если таким оборудован экскаватор, а на новой позиции установить эти устройства в рабочее положение.

4.2. Неполноповоротные экскаваторы

Неполноповоротные экскаваторы (рис. 4.24) изготавливают в основном на базе серийных пневмоколесных тракторов небольшой мощности и фронтальных погрузчиков. Это мобильные малогабаритные землеройные машины с большим количеством (до 25) сменных видов рабочего оборудования.

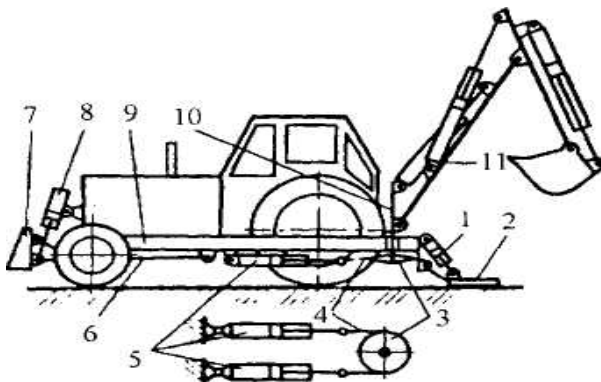


Рис. 4.24. Неполноповоротный гидравлический одноковшовый экскаватор на базе пневмоколесного трактора

Наиболее эффективно их используют в стесненных условиях, а также при небольших объемах рассредоточенных земляных работ.

Основным рабочим органом неполноповоротных экскаваторов обычно служит унифицированный ковш прямой и обратной лопат вместимостью $0,2 \div 0,3 \text{ м}^3$. Сменными являются узкий и специальный ковши для рытья узких траншей, погрузочные ковши вместимостью $0,2 \div 0,6 \text{ м}^3$, крановая подвеска грузоподъемностью $0,3 \div 0,8 \text{ т}$, грейфер вместимостью $0,2 \div 0,3 \text{ м}^3$, однозубый рыхлитель, гидравлический молот, грузовые вилы, буровое оборудование, захват для укладки бордюрных камней, оборудование обратной лопата со смещенной осью копания для рытья траншей вблизи зданий и сооружений и т. п. Рабочее оборудование заменяется машинистом непосредственно на строительном объекте.

Рабочее оборудование 11, состоящее из стрелы, рукояти и ковша, вместе с гидроцилиндрами привода этих элементов смонтировано на поворотной колонке 10, установленной на раме 9 базового трактора. Поворот колонки вместе с рабочим оборудованием на 90° в каждую сторону обеспечивается двумя гидроцилиндрами 5, приводящими цепь 4, охватывающую звездочку 3, жестко посаженную на вал колонки. Применяются также реечные и рычажные механизмы поворота.

Для экскавации грунта машину устанавливают на две выносные опоры 2 и смонтированный на дышле 6 бульдозерный отвал 7, управляемые гидроцилиндрами 1 и 8.

Экскаваторы, оборудованные ковшом обратной лопаты вместимостью от 0,03 до 0,2 м³, а также сменными рабочими органами (гидромолотами, гидротрамбовками, рыхлителями, вилочными захватами, грейфером и др.) используют на строительных и ремонтных работах в стесненных и труднодоступных местах, в т. ч. внутри зданий, а также на рассредоточенных объектах с небольшими объемами земляных работ. Благодаря небольшим габаритам и массе, их перевозят в кузове грузовых автомобилей. Эти экскаваторы бывают неполноповоротными и полноповоротными. Неполноповоротный экскаватор состоит из базовой малогабаритной машины (колесного трактора или колесного короткобазового погрузчика) и экскавационного рабочего оборудования. Рабочее оборудование смонтировано на поворотной колонке, установленной на опорной раме базовой машины и может поворачиваться в каждую сторону на угол до 90° . Для работы в труднодоступных местах поворотная колонка вместе с рабочим оборудованием может смещаться в поперечном направлении относительно продольной оси машины. В рабочем положении экскаватор устанавливают на две выносные опоры.

Полноповоротные пневмоколесные экскаваторы по своим кинематическим, конструктивным и эргономическим качествам подобны современным одноковшовым полноповоротным гидравлическим экскаваторам с рабочим оборудованием обратная лопата, но отличаются от последних небольшой массой и малыми габаритами как всех основных узлов (кроме

кабины), так и всего экскаватора, наличием механизма смещения рабочего оборудования относительно платформы.

Благодаря смещению рабочего оборудования представляется возможным разрабатывать грунт в непосредственной близости от стен зданий и сооружений. В основном используют угловое смещение на 55° в каждую сторону.

Ходовое устройство может быть гусеничным с металлическими или резинометаллическими гусеничными лентами для работы в городских условиях без повреждения асфальтового или иного твердого дорожного покрытия, колесным и шагающим.

Ширина микро-экскаватора обычно не превышает 1 м, вместимость ковша $0,02 \div 0,03 \text{ м}^3$ при ширине $200 \div 450 \text{ мм}$. Рабочее оборудование – обратная лопата. В большинстве случаев – это неполноповоротные машины, не имеющие собственного привода механизма передвижения и кабины машиниста. Изготавливаются на базе универсальных мотоблоков. Перебазировка осуществляется в кузове небольшого грузового автомобиля или на прицепе к легковому автомобилю.

При расчете технической производительности гидравлического экскаватора с рабочим оборудованием обратная лопата продолжительность рабочего цикла (с) определяют как

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{к}} + t_{\text{пг}} + t_{\text{р}} + t_{\text{п п}} + t_{\text{оп}}, \quad (37)$$

где $t_{\text{к}}$, $t_{\text{пг}}$, $t_{\text{п п}}$, $t_{\text{р}}$ и $t_{\text{оп}}$ – время (с), затрачиваемое соответственно на копание грунта, поворот платформы с груженым ковшом на разгрузку, собственно разгрузку ковша, поворот платформы с порожним ковшом в возвратном направлении и опускание рабочего оборудования от уровня стоянки экскаватора до положения начала следующего рабочего цикла.

Маневровые движения рабочего оборудования для установки ковша в положение разгрузки обычно совмещаются с поворотом платформы на разгрузку на расчетный угол 90° , а поэтому затрачиваемое на эти движения время в расчетах не учитывается, поскольку оно покрывается временем поворотного движения. По той же причине не учитывается время маневровых движений рабочего оборудования при повороте

платформы к забою. Опускают же рабочее оборудование в забой ниже уровня стоянки экскаватора обычно после прекращения поворотного движения.

Проиллюстрируем метод определения составляющих продолжительности рабочего цикла следующим примером.

Пусть требуется определить продолжительность рабочего цикла пневмоколесного гидравлического одноковшового экскаватора с рабочим оборудованием обратная лопата по следующим исходным данным: мощность двигателя $P_{\text{дв}}=55,1$ кВт; средний суммарный КПД привода рабочего оборудования $\eta_y = 0,58$; вместимость ковша $q = 0,5$ м³; разрабатываемый грунт – суглинок; удельное сопротивление грунта копанью $k_1=150$ кПа; средние скорости вращения поворотной платформы в прямом $\nu_{\text{ср.пр}}=0,28$ с⁻¹ и возвратном $\nu_{\text{ср.возвр}} = 0,3$ с⁻¹ направлениях.

Средняя работа операции копания при расчетном коэффициенте наполнения ковша, равном коэффициенту разрыхления грунта, составит:

$$A_k = k_1 q = 150 \cdot 0,5 = 75 \text{ кДж.}$$

Мощность, затрачиваемая на копанье грунта с учетом КПД привода и 80 % ее реализации в этом режиме:

$$P_k = P_{\text{дв}} \eta_y 0,8 = 55,1 \cdot 0,58 \cdot 0,8 = 25,57 \text{ кВт.}$$

Расчетная продолжительность копания:

$$t_k = A_k / P_k = 75 / 25,57 = 2,93 \text{ с.}$$

Продолжительность поворота платформы на расчетный угол $\nu_{\text{пов.расч}} = \pi/2$ рад в прямом ($t_{\text{пов.пр}}$) и возвратном ($t_{\text{пов.возвр}}$) направлениях:

$$t_{\text{пов.пр}} = \nu_{\text{пов.расч}} / \nu_{\text{ср.пр}} = \pi / (2 \cdot 0,28) = 5,61 \text{ с;}$$

$$t_{\text{пов.возвр}} = \nu_{\text{пов.расч}} / \nu_{\text{ср.возвр}} = \pi / (2 \cdot 0,3) = 5,24 \text{ с.}$$

Экспериментально установлено, что на опускание ковша в забой затрачивается примерно 30 % времени рабочего цикла. Примерно половина этого движения (до уровня стоянки экскаватора) совмещается с поворотным движением платформы. Вторая же половина (ниже уровня стоянки), выполняемая без

совмещения с другими учитываемыми в расчете рабочими движениями, составляет примерно 15 % продолжительности рабочего цикла, с учетом чего:

$$t_{\text{ц}} = (t_{\text{к}} + t_{\text{пов.пр}} + t_{\text{пов.возвр}})/(1 - 0,15) = (2,93 + 5,61 + 5,24)/(1 - 0,15) = 16,21 \text{ с.}$$

Вид разрабатываемого грунта оказывает незначительное влияние на продолжительность рабочего цикла, которое учитывается удельным сопротивлением грунта копанию, входящим в формулу для определения времени копания. Последний составляет незначительную долю в общей продолжительности рабочего цикла. В приведенном выше примере эта доля равна $2,93/16,21 \cdot 100 \% = 18,08 \%$. При вариации удельного сопротивления грунта копанию от 18 до 280 кПа (для грунтов I–III категорий) она составляет от 2,7 до 28,5 %.

4.3. Сменные рабочие органы гидравлических экскаваторов

Рост уровня надежности гидравлики с некоторых пор позволяет успешно конкурировать гидравлическим экскаваторам со сверхнадежными механическими лопатами. Уже можно сравнивать ресурс обоих типов машин. Применение электронных систем контроля рабочих параметров гидропривода, особенно контроля состояния рабочей жидкости, помогает обеспечивать безаварийную эксплуатацию, снизить износ гидроагрегатов.

Гидравлический привод имеет значительный запас по возможности совершенствования его как такового. Применение гидропривода делает возможным различные варианты компоновки машины, особенно рабочего оборудования. Классическая конструктивно-компоновочная схема канатного экскаватора типа ЭКГ уже исчерпала себя, дальнейшее совершенствование возможно лишь применительно к силовому приводу основных механизмов – хода, поворота, лебедки. Это способно улучшить отдельные эксплуатационные показатели, но в целом машина остается на уровне традиционной механической лопаты.

Гидравлическая система включает в себя Hitachi's ETS (Electronic Total control System) [14, 19], которая призвана оптимизировать работу всего гидрооборудования, начиная от

главных насосов и заканчивая всеми исполнительными агрегатами (силовые гидроцилиндры, гидромоторы). ETS автоматически вносит коррективы в работу гидравлических систем, обеспечивая управление и выход на наиболее эффективный режим работы оборудования, производит самодиагностику. Для оптимизации рабочих параметров при непосредственной разработке тяжелых забоев на экскаваторы устанавливают дополнительный уравнивающий гидроцилиндр, гидравлически связанный с основным силовым контуром, чем достигается сокращение рабочего цикла и обеспечивается защита основного гидроцилиндра рукояти. Используется система автовыравнивания угла наклона ковша во время черпания.

На гидравлический экскаватор для разработки грунтов выше уровня стоянки навешивают рабочее оборудование прямая лопата (рис. 4.25, а), состоящее из стрелы 1, рукояти 3 и ковша 5. Стрела обычно короче, чем у обратной лопаты. Привод стрелы обеспечивается двумя гидроцилиндрами 8, а рукояти – гидроцилиндром 2. Относительно рубояти ковша могут быть поворотными (рис. 4.25, а) и неповоротными (рис. 4.25, б). Поворотный ковш может изменять свое положение относительно рукояти как для установки требуемого угла резания, так и для выгрузки грунта с помощью гидроцилиндра 4 (см. рис. 4.25, а), коромысла 7 и тяги 6. Неповоротные ковши устанавливают на рукояти с постоянным углом резания, который может быть изменен заменой тяги 10 (см. рис. 4.25, б) соответствующей длины. В нижней части корпуса ковша на шарнире 11 установлено откидывающееся днище 13, закрываемое подпружиненной щеколдой 15. Для разгрузки грунта посредством гидроцилиндра 9 через рычаг 12 и цепь 14 щеколду выдергивают из своего гнезда на корпусе, после чего днище открывается под действием собственной силы тяжести. Захлопывается днище автоматически при опускании ковша в нижнее положение для начала копания. На некоторых моделях устанавливают также челюстные ковши (рис. 4.25, в), состоящие из шарнирно соединенных между собой двух челюстей – корпуса 18 и днища 17. В режиме копания и транспортирования грунта челюсти сомкнуты, а для разгрузки грунта они размыкаются гидроцилиндром 16, вмонтированным в днище ковша.

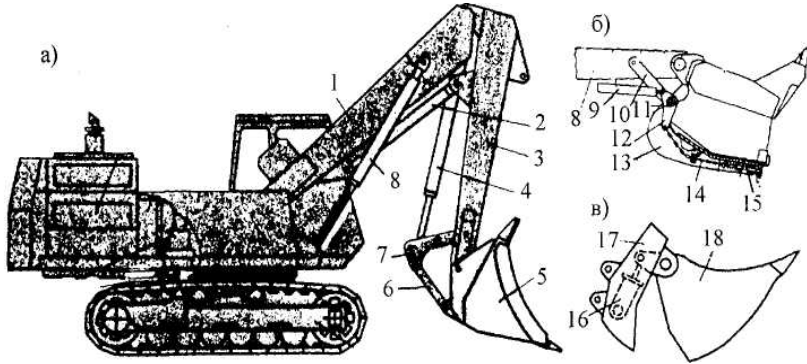


Рис. 4.25. Гидравлический одноковшовый экскаватор с рабочим оборудованием прямая лопата (а), неповоротный (б) и челюстной (в) ковши

Экскаватор с рабочим оборудованием прямая лопата разрабатывает грунт движением ковша снизу (от уровня стоянки экскаватора) вверх (до верхнего обреза забоя). Максимальная кинематическая высота копания реализуется лишь для маневровых движений. Из-за опасности обрушения грунта из образующихся навесов (козырьков) копать на этой высоте нельзя. При копании на максимальном вылете ковша козырьки образуются уже, начиная с высоты оси пяты стрелы. Соблюдая требования безопасности, высоту забоя можно довести до $2/3$ максимальной кинематической высоты. Хотя кинематика рабочего оборудования позволяет разрабатывать грунт ниже уровня стоянки экскаватора, реализовать это удастся крайне редко – лишь на последней по ходу движения позиции экскаватора, так как отрытая перед ним выемка не позволяет экскаватору перемещаться вперед "на забой".

Копают грунт поворотом рукояти относительно стрелы, а толщину грунтовой стружки регулируют кратковременными движениями стрелы с перемещением ковша "на забой" или от него. В случае поворотных и челюстных ковшей возможна разработка грунта поворотом ковша. Структура рабочего цикла такая же, как и у экскаватора с рабочим оборудованием обратная лопата.

Рабочее оборудование грейфер используют для отрывки глубоких котлованов, очистки водоемов и каналов, а также для погрузки и разгрузки сыпучих материалов. Рабочее оборудование (рис. 4.26) состоит из двухчелюстного ковша, установленного на нижнем конце штанги 8, которую подвешивают к рукояти 7 обратной лопаты на двух цилиндрических шарнирах 5 и 6, позволяющих ковшу занять отвесное положение. Челюсти 1 раскрываются либо одним, либо двумя гидроцилиндрами. В первом случае (рис. 4.27, а) гидроцилиндр 3, помещенный в полую штангу и шарнирно соединенный с ней, приводит в движение траверсу 2, по концам которой на шарнирах подвешены тяги 9, соединенные нижними концами с челюстями. При выдвинутом штоке гидроцилиндра челюсти сомкнуты, при втянутом штоке – разомкнуты. Для начала работы ковш с раскрытыми челюстями опускают на захватываемый материал, после чего их замыкают гидроцилиндром. При этом ковш внедряется в материал и заполняется им. В таком положении ковш поднимают рукоятью из выемки и последующим поворотом платформы устанавливают в положение разгрузки. Разгружают ковш размыканием челюстей. Для работы на больших глубинах штангу 8 удлиняют вставками.

Двухцилиндровый грейфер (рис. 4.27, б) отличается от описанного двумя вместо одного гидроцилиндрами 10 привода челюстей, расположенными с двух сторон штанги и соединенными с ней гильзами шарнирно. Штоками гидроцилиндры соединены с челюстями [11, 14].

Относительно вертикальной оси ковш грейфера может быть поворотным и неповоротным. Поворотный ковш более универсален. Он обладает лучшей маневренностью при копании и погрузочно-разгрузочных работах, способностью к установке в менее энергоемкое положение при разработке грунта. Поворот штанги обеспечивается установленным между рукоятью и штангой механизмом 4 (рис. 4.27, а), состоящим из гидроцилиндра 11 (рис. 4.27, в), рычага 13 и тяги 12, соединенной со штангой.

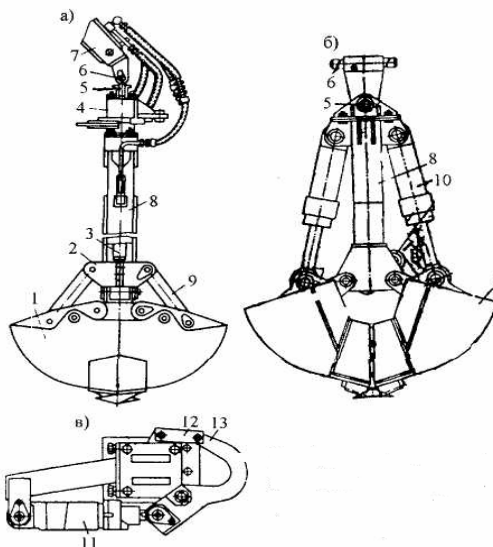


Рис. 4.27. Сменное рабочее оборудование захватно-клещевого типа

Рассмотренные ранее канатные грейферы при захвате грунта реализуют напорное усилие, равное разности силы тяжести ковша и усилия натяжения замыкающего каната, т. е. на разработку грунта реализуется только часть силы тяжести ковша. Кроме того, удовлетворяющая требованиям производства грейферных работ загрузка ковша обеспечивается при низких скоростях сближения челюстей при действующих на грунт нагрузках, по значению близких к статическим. С увеличением этих скоростей ковш отрывается от грунта, не успев заполниться. Эти факторы существенно снижают производительность канатного грейферного оборудования и не позволяют грейферу разрабатывать прочные грунты. Гидравлические грейферы за счет жесткого соединения его элементов между собой и с рукоятью базовой машины способны воздействовать на грунт с большими, чем канатные грейферы, усилиями, что позволяет им разрабатывать грунты с большими поперечными сечениями срезов, а также более прочные грунты без ограничения скорости сближения челюстей. По сравнению с канатными грейферами это позволяет сократить продолжительность рабочего цикла более

чем на 30 % при одновременном увеличении объема разработанного за один рабочий цикл грунта и, существенно повысить производительность.

Для погрузки дробленых и сыпучих материалов применяют гидравлические экскаваторы с погрузочным оборудованием (рис. 4.28). При загрузке ковша последний перемещают по подошве осыпающегося откоса штабеля, работая на малых вылетах. По условиям устойчивости машины и наилучшего использования энергетических параметров ее силовой установки на этих работах ковши погрузчиков имеют повышенную вместимость (в $1,5 \div 2$ раза больше вместимости ковшей прямых лопат). Для погрузочного оборудования обычно используется корневая секция составной стрелы обратной лопаты 1. Она связана с подвеской 6 ковша 4 посредством рукояти 2 и тяги 3. Рукоять, тяга, стрела и подвеска образуют шарнирный четырехзвенник (параллелограмм), благодаря которому при повороте рукояти относительно стрелы гидроцилиндром 8 подвеска с ковшом совершает плоско-параллельное движение.

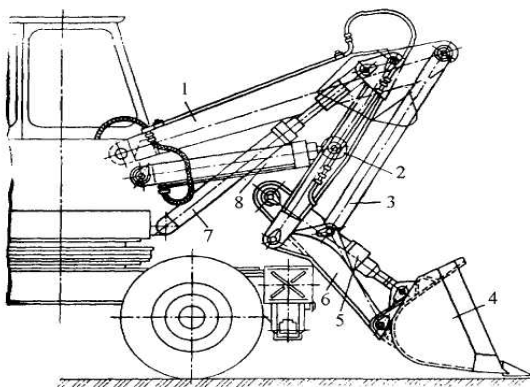


Рис. 4.28. Рабочее оборудование погрузчика

Дополнительно, управляя положением стрелы с помощью гидроцилиндра 7, можно добиться поступательного движения ковша по подошве штабеля, менее энергоемкого, чем при внедрении ковша в штабель движением всей машины.

Структурно рабочий цикл погрузочного оборудования такой же, как у прямой лопаты, но отличается характером рабочих движений. После описанной выше операции заполнения ковша его поворачивают гидроцилиндром 5 в положение транспортировки. Далее стреловым гидроцилиндром 7 поднимают рабочее оборудование с одновременным вращением поворотной платформы до положения разгрузки. Разгружают грунт поворотом ковша, а возвращают рабочее оборудование на позицию следующего рабочего цикла теми же движениями в обратном порядке.

В ряде случаев, например, при разработке слежавшихся или смерзшихся в штабеле материалов, к ведению погрузочных работ предъявляют те же требования безопасности, что и при работе прямых лопат. Для рыхления прочных, включая мерзлые, грунтов гидравлические экскаваторы комплектуют оборудованием рыхлителя и гидромолота, а также рабочим оборудованием **захватно-клещевого типа** (рис. 4.29).

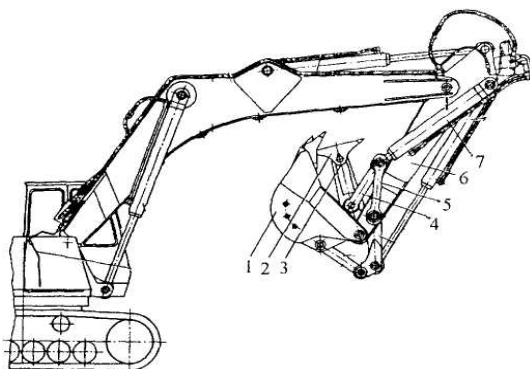


Рис. 4.29. Рабочее оборудование экскаватора захватно-клещевого типа

Это оборудование используют для рыхления мерзлых грунтов, разборки старых зданий, взламывания и погрузки асфальтобетонных покрытий, снятия и укладки дорожных плит, труб, установки колодцев, для разрушения скальных пород и т.п. Его устанавливают на рукояти обратной лопаты вместо ковша [5,14].

Однозубый рыхлитель (см. рис. 4.30) состоит из литого зуба 1 со сменной коронкой 2, наплавленной твердым сплавом. Гидромолот с рабочим инструментом в виде клина крепят к рукояти обратной лопаты с помощью переходного кронштейна.

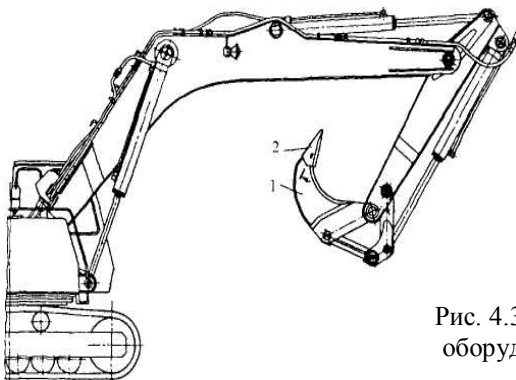


Рис. 4.30. Сменное рабочее оборудование однозубого рыхлителя

Дополнительно к ковшу обратной лопаты 1 (рис. 4.29) на одной оси соединения ковша с рукоятью 6 устанавливают рычаг-рыхлитель 3 с закрепленным на его конце двухзубым наконечником 2. Управляют рычагом с помощью двух гидроцилиндров 7 через тяги 4 и 5. При разработке грунтов, требующих предварительного разрыхления, работают поочередно рычагом-рыхлителем и ковшом. На первом этапе – разрыхлении грунта – ковш отводят в крайнее отвернутое от рукояти положение и работают рычагом-рыхлителем. На втором этапе рычаг переводят в крайнее повернутое к рукояти положение и загружают ковш разрыхленным грунтом, как обычной обратной лопатой. Возможна также разработка грунта одновременно ковшом и рыхлителем при их встречном движении. Большие по размерам обломки грунта после его разрыхления, не помещающиеся в ковше, зажимают между ковшем и рычагом и в таком положении транспортируют на разгрузку.

К поворотной платформе шарнирно прикрепляется гидроцилиндр стрелы, который может поворачиваться в вертикальной плоскости. Неподвижная секция стрелы (рис. 4.31) располагается внутри рамы и может поворачиваться относительно ее продольной оси с помощью установленного на тыльном торце рамы механизмом, состоящим из приводимого гидроцилиндром 11 зубчатого сектора 12 и соединенного с секцией стрелы зубчатого колеса 9. Выдвижная секция стрелы 5 может выдвигаться из неподвижной секции и вдвигаться в нее длинноходовым гидроцилиндром 4, размещенным внутри стрелы. Ход стрелы обычно до 3–4 м. Ковш 7 закреплен шарнирно на конце подвижной. Применение описанных выше видов рабочего оборудования на базе шарнирно-рычажных схем гидравлических экскаваторов для планировочных работ требует четкой координации нескольких простых движений, из которых может быть составлено прямолинейное движение режущей кромки ковша. Исключением является рабочее оборудование погрузчика, но оно имеет небольшие перемещения в направлении планируемой полосы. Более просто эта задача решается телескопическим рабочим оборудованием экскаватора-планировщика (рис. 4.31), состоящим из рамы 2, двух секций стрелы – неподвижной 3 и подвижной 5 и ковша 7. Рама закреплена на секции. Он может поворачиваться относительно последней гидроцилиндром 6.

Экскаваторы-планировщики применяют для планировки горизонтальных земляных поверхностей и откосов, а также для обычных экскавационных работ. Эти экскаваторы характеризуются малой габаритной высотой, что позволяет эффективно использовать их в стесненных условиях городской и промышленной застройки, в труднодоступных местах, в частности, для разработки грунтов под мостами, на участках пересечения коммуникаций, для зачистки дна и вертикальных стенок траншей и котлованов, подсыпки и разравнивания грунта под полы, фундаменты и подпольные каналы, засыпки пазух фундаментов, траншей и котлованов, и т. п. Экскаватор работает позиционно с короткими передвижками.

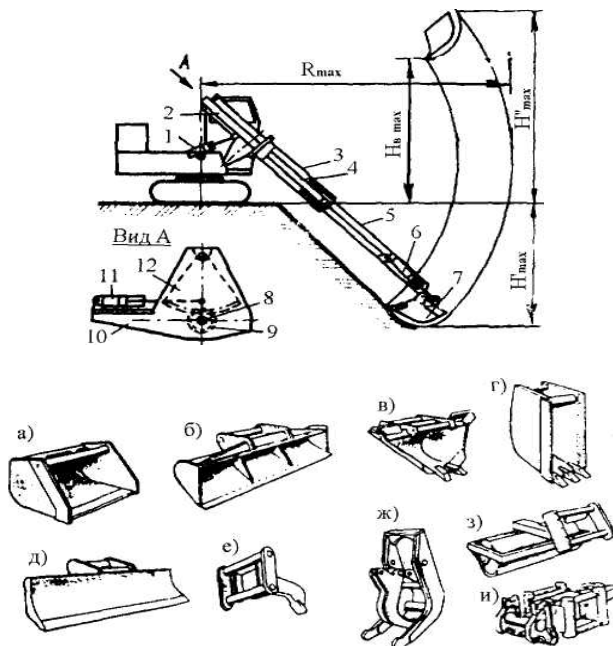


Рис. 4.31. Экскаватор-планировщик и сменные к нему рабочие органы: ковши – экскаваторный (а); планировочный (б); профилировочный (в); для дренажных работ (г); д – планировочный отвал; е – рыхлитель; ж – клещевой захват; з – уплотняющий каток; и – приспособление для бокового копания

Положение ковша в пространстве определяется сочетанием следующих движений: его поворота относительно стрелы, выдвижения (втягивания) подвижной секции стрелы, поворота неподвижной секции стрелы относительно собственной продольной оси, поворота рамы в вертикальной плоскости и поворота платформы экскаватора. Основное движение при планировке земляных поверхностей – втягивание подвижной секции стрелы при установленном в рабочее положение (с определенным углом резания) ковшом. По достижении ковшом крайнего положения, во избежание просыпания грунта при его транспортировании в ковше, последний подворачивают к стреле, гидроцилиндром б.

4.4. Экскаваторы с гибкой подвеской рабочего оборудования (канатные экскаваторы)

Из канатных экскаваторов в настоящее время в строительстве эксплуатируются машины с рабочим оборудованием прямая лопата, драглайн и грейфер. Все другие виды канатного рабочего оборудования практически полностью вытеснены более прогрессивными гидравлическими аналогами [7, 18]. Ниже будут рассмотрены экскаваторы с рабочим оборудованием прямая лопата и драглайн.

Рабочее оборудование прямого копания (**прямая лопата**) (рис. 4.32), являющееся основным для канатных экскаваторов, разрабатывает грунт выше уровня стоянки экскаватора движением ковша снизу вверх. Оно состоит из стрелы 3, шарнирно соединенной с поворотной платформой и удерживаемой стрелоподъемными канатами 2, рукояти 4, поступательно Стрелы бывают однобалочными при двухбалочной рукояти перемещаемой в седловом подшипнике 1, поворотном относительно стрелы, и ковша 6 на конце рукояти.

Вместе с рукоятью ковш может изменять свой вылет относительно стрелы, подниматься и опускаться с помощью подъемных канатов 5 (рис. 4.33, а) и при двухбалочной и однобалочной рукояти (рис. 4.33, б). В последнем случае рукоять перемещается в окне стрелы.

Ковш поднимается подъемной лебедкой, а опускается за счет собственного веса при расторможенной подъемной лебедке. Его вылет изменяется с помощью напорной лебедки. На рис. 4.34, а представлена схема канатоведения подъемного механизма и цепного привода напорного механизма для экскаваторов с двухбалочной рукоятью. Эти механизмы кинематически не зависят друг от друга (*независимый напор*). На схеме лебедки представлены их концевыми звеньями: подъемная – барабаном 4, напорная – звездочкой 3, от которой через двухступенчатую цепную передачу 2 напорное усилие передается валу 5 и двум шестерням 6 зацепляющимся с зубчатыми рейками, установленными на нижних полках балок рукояти.

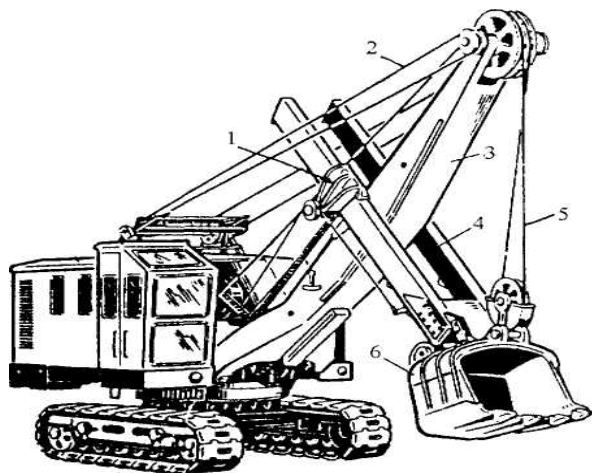


Рис. 4.32. Одноковшовый экскаватор с гибкой подвеской рабочего оборудования прямая лопата

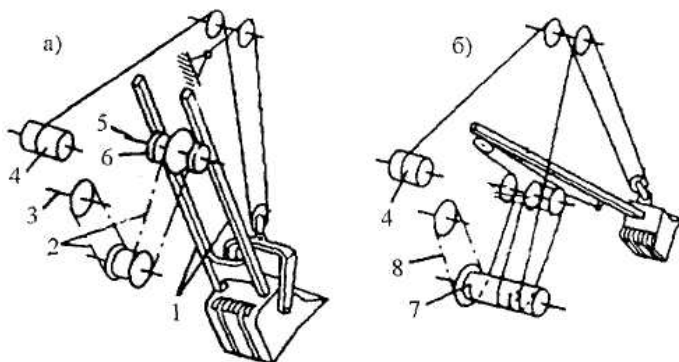


Рис. 4.33. Кинематические схемы приводов рабочего оборудования прямая лопата: а – при независимом напоре; б – при зависимом и комбинированном напоре

1. Напорное усилие может также зависеть от подъемного движения (*зависимый напор*) (рис. 4.34, б). Для этого один конец подъемного каната закрепляют на подъемном барабане 4, а второй – на напорном барабане 7, благодаря чему требуемое

напорное усилие обеспечивается реактивным усилием ветви подъемного каната. Напорная лебедка используется в этом случае только для возвратного движения рукояти. При зависимом напоре исключается возможность управления напорным движением при разработке грунтов различной прочности. Лучшим решением является *комбинированный напор*, конструктивно отличающийся от зависимого напора приводом барабана 7 от напорной лебедки с помощью цепи 8 как в прямом, так и в возвратном направлениях. При прямом (напорном) движении рукояти ее скорость корректируется напорной лебедкой при одновременном воздействии на напорный механизм реактивного усилия в закреплённой на барабане 7 ветви подъемного каната.

Привод механизмов может быть как одномоторным (групповым) (рис. 4.34, а) от ДВС, так и многомоторным (рис. 4.34, б–д) дизель-электрическим или с питанием от внешней электросети. Последним оборудуют экскаваторы, длительное время работающие на одном месте, например, в карьерах на добыче строительных материалов (песка, гравия).

Групповой привод состоит из приводимой дизелем 21 (рис. 4.34, а) через муфту сцепления 22 главной трансмиссии и подключаемых к ней фрикционными муфтами трансмиссий механизма подъема ковша, напорного и стрелоподъемного механизмов, механизмов поворота платформы и передвижения. Главная трансмиссия включает цепную передачу 23, зубчатые колеса 24, 27 и 35. Барабан 39 лебедки подъема ковша подключают к главной трансмиссии ленточной фрикционной муфтой 41. Удерживают ковш на любой высоте ленточным тормозом 40 при отключенной муфте 41. Опускают ковш гравитационно, растормаживая барабан 39. Напорный механизм, состоящий из цепной передачи 38 и напорного барабана 43, установленного соосно с шарниром пяты стрелы, включают на выдвижение рукояти ленточной муфтой 36, а на возвратное движение – конусной фрикционной муфтой 28 при включенной на звездочку кулачковой муфте 31. Возвратное напорное движение передается напорному барабану через цепные

передачи 30 и 38. Рукоять фиксируют в любом положении ленточным тормозом 37 при отключенных муфтах 36 и 31. Стрелоподъемный барабан 32, оборудованный тормозом 33, включают на подъем стрелы муфтой 28 при включенной на барабан кулачковой муфте 31. Опускают стрелу гравитационно после растормаживания барабана 32 при включенной главной передаче. Частота вращения барабана и, следовательно, скорость опускания стрелы ограничиваются при этом обгонной муфтой 42, с которой барабан 32 связан цепной передачей 34. Механизмы поворота и передвижения приводятся через реверсивный механизм и подключаются к нему конусными фрикционными муфтами 25 и 26, одной – на прямое, другой – на возвратное движение.

Для работы поворотного механизма предварительно включают кулачковую муфту 19. Движение передается по кинематической цепи 16–17 или 15–14 (две скорости) и далее через зубчатую пару 14–13 к шестерне 12, находящейся в постоянном зацеплении с неподвижным зубчатым венцом 10, расположенным на ходовой раме, обегая вокруг которого шестерня с ее валом приводит во вращение поворотную платформу. Останавливают и стопорят платформу тормозом 18. Предварительно включенный кулачковой муфтой 20 механизм передвижения гусеничного экскаватора приводится также от реверсивного механизма.

От вертикального вала 11, расположенного центрально относительно зубчатого венца 10, движение передается горизонтальному валу 5 через коническую зубчатую передачу. При включении двух кулачковых муфт 3 и 6 движение передается ведущим звездочкам через цепные передачи соответственно 1, 2 и 7, 8, а при включении только одной из указанных муфт – только одной ведущей звездочке (режим поворота при передвижении).

Механизм передвижения оборудован тормозом 4 и стопором 9, используемым для стопорения механизма в режиме экскавации.

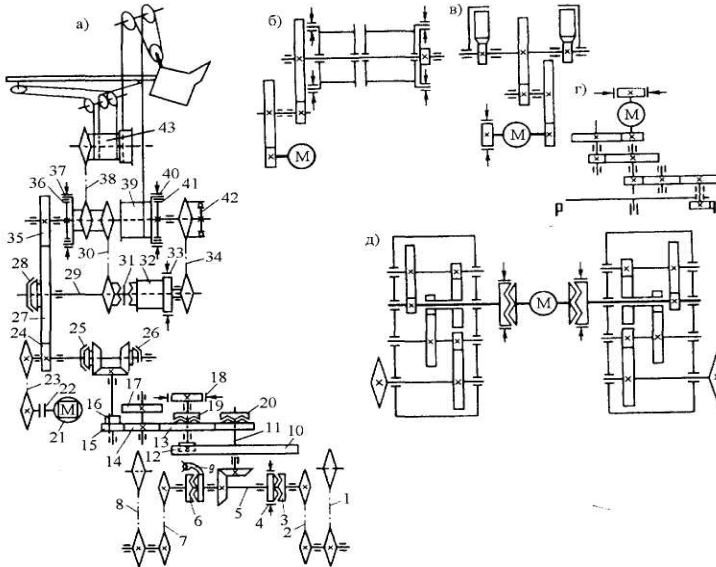


Рис. 4.34. Кинематические схемы одноковшовых гусеничных экскаваторов с рабочим оборудованием прямая лопата: а – одномоторного; б–д – многомоторного привода механизмов подъема ковша и стрелы (б), напора (в), поворота (г) и передвижения (д)

При многомоторном приводе кинематические схемы существенно упрощаются. Так, на дизель-электрическом экскаваторе 7-ой размерной группы только две пары механизмов – подъема ковша и стрелы (рис. 4.34, б), а также ходового устройства (рис. 4.34, д) – приводятся от одного электродвигателя на каждую пару, остальные механизмы имеют индивидуальный привод. Все электродвигатели реверсируемы, благодаря чему отпадает необходимость в механическом реверсе. Объединение механизмов подъема ковша и стрелы в одну группу обосновано весьма редким использованием стрелоподъемного механизма. Их барабаны посажены на один вал и включаются раздельно фрикционными муфтами.

Ходовой механизм (рис. 4.34, д) выполнен в виде двух четырехступенчатых редукторов, быстроходные валы которых с помощью кулачковых муфт подключаются к электродвигателю

совместно – при прямолинейном передвижении или раздельно – при разворотах. Каждая из гусениц ходового устройства может также приводиться в движение независимо от другой собственным двигателем, что повышает маневренность машины, поскольку при включении одного двигателя на прямое, а второго – на возвратное движение экскаватор разворачивается относительно собственной оси. Недостатком раздельного привода гусениц является повышенная суммарная установочная мощность электродвигателей, которую назначают из условия обеспечения поворотного движения только одним двигателем, в то время как второй двигатель в этом движении не участвует. В случае же привода обеих гусениц одним электродвигателем при остановке одной гусеницы вся его энергия направляется на привод второй, движущейся гусеницы.

Весь привод напорного механизма (рис. 4.34, *в*) с зубчаточными парами монтируют на стреле, чем обеспечивается его компактность. Так же компактно, в зоне шестерни, обегавшей зубчатый венец, установлен на поворотной платформе механизм ее поворота (рис. 4.34, *з*).

Рабочий цикл канатных прямых лопат аналогичен рассмотренному ранее рабочему циклу гидравлических экскаваторов с тем же видом рабочего оборудования [9, 17]. Для начала копания на новой стоянке ковш устанавливают возможно ближе к базовой части. Далее подъемным полиспастом его перемещают по забою снизу вверх, регулируя толщину грунтового среза (стружки) напорным движением. После выхода ковша за верхний обрез забоя (номинально – выше оси напорного вала) включают механизм поворота платформы, не прекращая при этом подъемного движения, которым вместе с напорным и поворотным движением ковш устанавливают в положение разгрузки. Разгружают ковш открыванием его днища. Остальные положения относительно разгрузки и возврата ковша в забой остаются прежними. Рабочими размерами канатных прямых лопат являются: минимальный $R_{\min}$ и максимальный $R'_{\max}$ радиусы установки ковша на уровне стоянки, максимальные радиус $R_{\max}$ и высота $H_{\max}$ копания, максимальная высота разгрузки ковша $H_{\text{разгр. max}}$ и радиус разгрузки на этой высоте $R_{\text{разгр. max}}$.

Драглайном называют рабочее оборудование одноковшового экскаватора с ковшом, подвешенным к стреле на подъемном канате и перемещаемым при копании грунта тяговым канатом. Драглайном принято также называть экскаватор с одноименным рабочим оборудованием. Эти машины применяют для разработки грунтов преимущественно ниже уровня стоянки при отрывке котлованов и траншей, для подводной разработки выемок, а также для погрузки и разгрузки сыпучих и дробленых строительных материалов. Мощные шагающие драглайны применяют для добычи полезных ископаемых открытым способом и на вскрышных работах. Отечественная промышленность выпускает строительные драглайны с ковшами от 0,3 до 3 м³, а шагающие драглайны – с ковшами от 5 до 100 м³.

Рабочее оборудование драглайна (рис. 4.35) включает стрелу 10 обычно решетчатой, реже вантовой (для шагающих драглайнов) конструкции, по длине значительно превышающую стрелу лопаты, и ковш 5, перемещаемый тяговым 6 и подъемным 2 канатами, с которыми он соединен посредством цепей 8 и 4. Тяговый канат направляется блочно-роликовым устройством 7 и навивается на барабан тяговой лебедки. Подъемный канат огибает головной блок 1 и навивается на барабан подъемной лебедки [9, 10].

Драглайны работают преимущественно с разгрузкой в отвал. Разгрузка грунта в транспортное средство возможна, но она резко снижает производительность экскаватора из-за необходимости выполнять эту операцию после полной остановки поворотного движения и пониженных скоростей последнего во избежание раскачки ковша.

Для эффективной разработки различных по прочности грунтов петли для крепления к ковшу тяговых цепей делают переставными, устанавливая их в верхнее или нижнее положения при разработке соответственно легких и прочных грунтов, чем достигается определенная толщина стружки – большая для легких, меньшая – для прочных грунтов. В отличие от лопат, регулирующих толщину стружки напорным усилием, ковш драглайна прижимается к забою только нормальным усилием, являющимся частью его веса. При этом толщина стружки оказывается меньше, чем у лопат, из-за чего для наполнения ковша соизмеримой с ковшами лопат вместимости требуется больший путь его перемещения по забою.

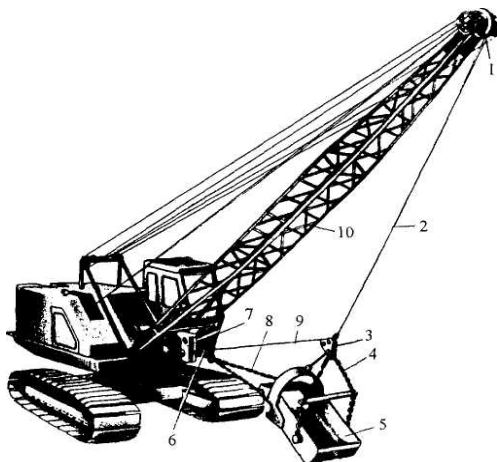


Рис. 4.35. Драглайн

Грунт разрабатывают перемещением ковша тягвым канатом вдоль забоя, после чего ковш поднимают подъемным канатом, подтягивая его к стреле и перемещая затем к ее головной части с одновременным поворотом платформы. При этих перемещениях ковш удерживается в положении, исключающем просыпание грунта, за счет разгрузочного каната 9 (см. рис. 4.35), огибающего блок 3 и соединенного одним концом с тягвым канатом, а вторым закрепленного на арке ковша. Разгружают ковш отпусканьем тягового каната, вследствие чего он опрокидывается зубьями вниз.

При переоборудовании строительного универсального одноковшового экскаватора с прямой лопаты на драглайн заменяют его рабочее оборудование, устанавливают направляющее блочно-роlikовое устройство у пяты стрелы и переоборудуют напорный механизм в тяговый.

Мощные шагающие драглайны отличаются от описанных большими размерами и массой, индивидуальным приводом рабочих механизмов и ходовым оборудованием. Основные механизмы этих экскаваторов приводятся электродвигателями постоянного тока, питаемыми от сети переменного тока высокого напряжения через сетевой двигатель переменного тока и генераторы постоянного тока.

4.5. Экскаваторы непрерывного действия

Экскаваторами непрерывного действия называют *землеройные* машины, непрерывно разрабатывающие грунт с одновременной погрузкой его в транспортное средство или укладкой в отвал (рис. 4.36) [16]. Рабочий орган экскаватора непрерывного действия оборудован несколькими ковшами, скребками или резцами, поочередно отделяющими грунт от массива. Их закрепляют на едином рабочем органе – *роторе* или *замкнутой цепи*, располагая с определенным постоянным шагом.

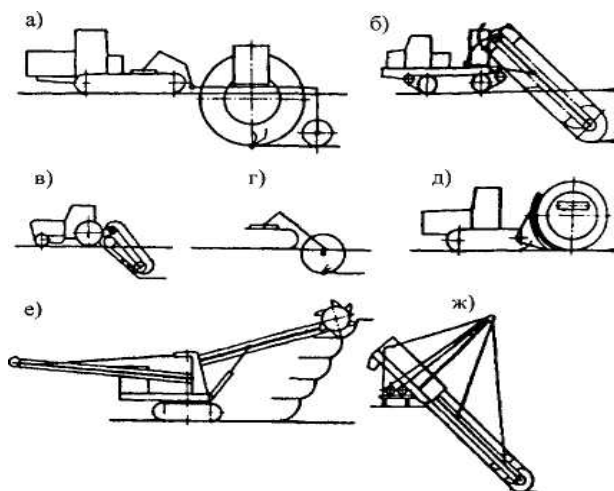


Рис. 4.36. Типы экскаваторов непрерывного действия: *а* – роторный траншейный; *б* – цепной траншейный; *в* – скребковый для узких траншей; *г* – фрезерный; *д* – роторный для засыпки траншей; *е* – роторный поперечного копания; *ж* – цепной поперечного копания

Грунт разрабатывают в процессе двух независимых движений: относительного – непрерывного перемещения ковшей или заменяющих их рабочих органов по замкнутой траектории относительно несущей рамы и переносного – перемещением рамы вместе с рабочими органами, называемого *подачей*.

Для отсыпки грунта используют специальное транспортирующее устройство, чаще – ленточный конвейер, на который грунт поступает из ковшей или заменяющих их рабочих органов.

Однотипность рабочих движений предопределяет автоматизацию процесса и, как следствие, облегчение управления, которое сводится к начальной настройке экскаватора на определенный режим в соответствии с технологическими требованиями и характеристикой разрабатываемого грунта, наблюдению за его работой и оперативному ручному управлению в экстремальных ситуациях, например, для остановки рабочего органа при встрече с непреодолимым препятствием, для изменения режимов рабочих движений и т. п. По этому показателю экскаваторы непрерывного действия имеют преимущество перед одноковшовыми экскаваторами, управление рабочим процессом которых требует постоянного участия машиниста в течение каждого экскавационного цикла. Вторым важным преимуществом этих экскаваторов перед одноковшовыми является более полное использование во времени установленной мощности энергосиловой установки и, как следствие, при прочих равных условиях, более высокая техническая производительность.

Экскаваторы непрерывного действия классифицируют по следующим признакам: по назначению или виду выполняемых работ – траншейные – для отрывки (рис. 4.36, *а–г*) и засыпки (рис. 4.36, *д*) траншей, карьерные (рис. 4.36, *е, ж*) – для добычи строительных материалов в карьерах, строительно-карьерные (рис. 4.36, *е*) – для массовых земляных работ в строительстве; по типу рабочего органа – роторные (рис. 4.36, *а, г, д, е*) и цепные (рис. 4.36, *б, в, ж*); по способу копания – продольного (рис. 4.36, *а–д*), когда относительное и переносное движение совершается в одной плоскости, и поперечного копания (рис. 4.36, *е, ж*) – в противном случае. Остальные классификационные признаки являются общими для строительных машин (по типу привода, ходового устройства и др.). Траншейными экскаваторами называют землеройные машины непрерывного действия с рабочим органом продольного копания, применяемые для

отрывки траншей – выемок большой протяженности по сравнению с размерами их поперечных сечений [5, 18].

В зависимости от типа рабочего органа различают *роторные* и *цепные* траншейные экскаваторы. У роторного экскаватора ковши располагают с равным шагом по периферии рабочего органа – ротора, а у цепных – на замкнутой ковшовой цепи. Роторные экскаваторы применяют для разработки траншей ограниченной глубины (до 3 м) в связи с тем, что дальнейшее увеличение этого параметра требует увеличения диаметра ротора и связанной с этим габаритной высоты, предельные значения которой регламентированы условиями безопасного передвижения экскаватора при его перебазировании на новый строительный объект под мостами, эстакадами, линиями электропередач и т. п. Цепные рабочие органы любой длины при их переводе в транспортное положение располагаются почти горизонтально без увеличения габаритной высоты. Поэтому цепные экскаваторы могут разрабатывать траншеи любой практической глубины. Отечественная промышленность выпускает цепные экскаваторы для разработки траншей глубиной до 6 м.

Траншейные экскаваторы эффективно применять для разработки однородных грунтов до IV категории включительно. Крупные каменистые включения снижают ресурс этих машин, приводят к частым отказам, простоям и дополнительным затратам на ремонтно-восстановительные работы. Специальные роторные траншейные экскаваторы способны разрабатывать также мерзлые грунты.

Являясь машиной непрерывного действия, траншейный экскаватор наиболее полно реализует свои технологические возможности при разработке траншей большой протяженности с возможно меньшим количеством пионерных выемок для ввода рабочего органа в траншею, которые обычно дорабатывают до полного профиля одноковшовыми экскаваторами.

Главным параметром траншейного экскаватора является *глубина отрываемой траншеи*, входящая в его индекс. Например, ЭТР-254 обозначает экскаватор траншейный роторный четвертой модели для разработки траншей глубиной до 2,5 м; ЭТЦ-165 – экскаватор траншейный цепной пятой

модели, глубина траншей до 1,6 м. Основными параметрами служат масса экскаватора, мощность двигателя и др.

Траншейный экскаватор состоит из двух частей – тягача и рабочего оборудования, соединенных между собой по полуприцепной (большинство роторных экскаваторов) или навесной (малые модели роторных экскаваторов и их облегченные модификации, цепные экскаваторы) схемам.

В качестве базовых тягачей для малых моделей траншейных экскаваторов используют обычно гусеничные или колесные тракторы с необходимым переустройством. Тягачи средних и тяжелых моделей экскаваторов изготавливают преимущественно из тракторных узлов и деталей, сохраняя при этом принципиальную схему тракторного движителя, но по сравнению с базовыми тракторами уширяя колею и удлиняя базу. Вместе с широкими башмаками этим достигается уменьшение давления на грунт (50÷80 кПа), что позволяет этим машинам работать в грунтах с пониженной несущей способностью.

Рабочее оборудование траншейного экскаватора обеспечивает отрыв от массива грунта в траншее проектной глубины и ширины с откосами или без них, полный вынос его из траншеи и отсыпку в бруствер (кавальер) рядом с траншеей. Последнюю операцию обычно выполняет ленточный отвальный конвейер, установленный перпендикулярно продольной оси траншеи в полости ротора (на роторных экскаваторах), или на тягаче (на цепных экскаваторах). Для разработки узких траншей (щелей) применяют также бесконвейерные скребковые и фрезерные траншейные экскаваторы.

Техническую производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$) траншейных экскаваторов определяют по формуле:

$$П_T = F_{\text{тр}} v_{\text{п}}, \quad (4.6)$$

где $F_{\text{тр}}$ – площадь поперечного сечения траншеи, м^2 ; $v_{\text{п}}$ – скорость подачи, $\text{м}/\text{ч}$.

Рабочее оборудование роторного траншейного экскаватора (рис. 4.37, а) состоит из рабочего колеса – ротора 12, установленного на поддерживающих 13 и направляющих 7 роликах рабочей рамы 4, закрепленной на раме обечайки 5, ножевых откосников 6, зачистного щита 8, задней опоры 9 и

отвального конвейера 14. Несущими элементами ротора служат два кольца 20 (рис. 4.37, б), расположенные в параллельных плоскостях, с закрепленными по периферии ковшами. На широких роторах ковши устанавливают в два ряда со смещением одного ряда относительно другого на половину шага ковшей, обеспечивая этим более равномерную нагрузку на ротор при копании грунта. Ковш состоит из арки 19 с установленными в ее передней части зубьями или без них и днища 18 из переплетенных в двух направлениях цепей. Ковши открыты в лобовой части для поступления в них грунта и с внутренней стороны для разгрузки.

Все операции рабочего процесса ротора выполняются при его непрерывном вращении в сочетании с поступательным движением тягача. При движении ковшей вдоль забоя снизу вверх они разрабатывают грунт и заполняются им. От просыпания грунта внутрь ротора предохраняет неподвижно установленная на рабочей раме обечайка 5 (рис. 4.37, в) с верхним краем в начале зоны разгрузки. По достижении ковшами этой зоны грунт разгружается в открывшуюся внутреннюю полость ротора на отвальный конвейер 14, а далее последним – в бруствер с одной стороны траншеи (рис. 4.37, г). Цепные днища ковшей, благодаря подвижности цепных звеньев от собственного веса, способствуют более полному опорожнению ковшей.

Для эффективной разработки грунта зубья на ковшах устанавливают по схеме (рис. 4.37, д), реализующей метод "крупного скола", заключающийся в том, что в пределах каждой из двух или трех одинаковых групп последовательно расположенных на роторе ковшей каждый зуб 21 перемещается по своей полосе, следуя за зубом предшествующей группы в той же полосе. Так, при двухгрупповой расстановке, реализуемой в конструкциях отечественных траншейных роторных экскаваторов, и при 14-тиковшом роторе по следу зубьев 1-го ковша перемещаются лишь зубья 8-го ковша, по следу 2-го ковша – зубья 9-го ковша и т. д. По ширине передней кромки зубья расставлены примерно с одинаковым шагом.

Для повышения износостойкости зубьев их передние грани упрочнены износостойкими наплавками или напайками из

вольфрамокобальтовых пластин состава ВК15, по твердости соизмеримых с оксидом кремния, входящего в состав большинства грунтов [9, 14].

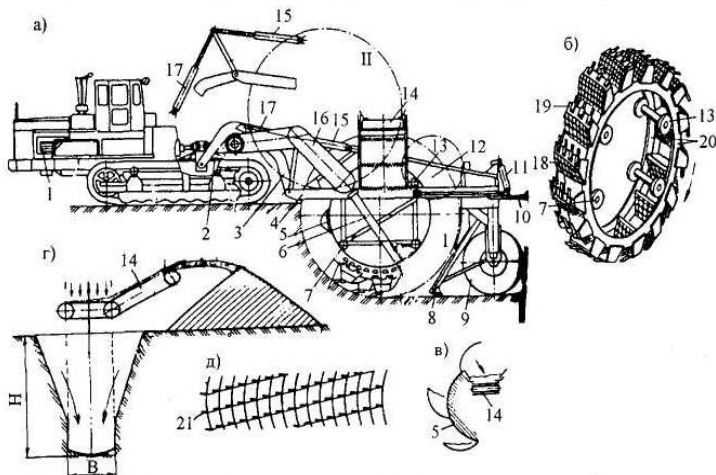


Рис. 4.37. Траншейный роторный экскаватор: а – общий вид; б – ротор; в – схема переноса грунта ковшами и их разгрузки; г – схема работы отвального конвейера; д – схема расстановки зубьев на ковшах

Ножевые откосники устанавливают с двух сторон ротора наклонно в продольном и поперечном направлениях, закрепляя их неподвижно на кронштейнах рамы. При движении экскаватора они отделяют грунт в зоне откосов от массива (рис. 4.37, г), где он обрушается вниз, захватывается ковшами и выносится на разгрузку вместе с грунтом, отделяемым от массива в лобовой части забоя.

Отвальные ленточные конвейеры имеют два конструктивных варианта: с цилиндрической поверхностью рабочей ветви конвейерной ленты – криволинейные, устанавливаемые на малых моделях экскаваторов, и двухсекционные (рис. 4.37, г), составленные из двух прямых секций, из которых одна – горизонтальная – является приемной, а вторая – наклонная – отвальной, устанавливаемой под требуемым углом

к приемной секции с помощью гидроцилиндра. Двухсекционные конвейеры устанавливают на средних и тяжелых экскаваторах. Скорость движения конвейерной ленты не превышает 5 м/с.

Установленный в задней части рабочей рамы зачистной щит 8 (см. рис. 4.37, *а*) служит для профилирования дна траншеи и его зачистки от осыпавшегося грунта из не полностью разгруженных возвращающихся в забой ковшей. Для частичной разгрузки задней опоры при разработке тяжелых, включая мерзлые, грунтов тяжелые модели роторных траншейных экскаваторов дополнительно оборудуют лыжами 10, управляемыми гидроцилиндрами 11, или колесными опорами с каждой стороны рабочей рамы с опиранием их на бровки траншеи.

Для установки рабочего оборудования на требуемую глубину траншеи, а также для его перевода из рабочего *I* положения в транспортное *II* и наоборот используют гидравлические цилиндры 15 и 17. Опорно-поворотное устройство позволяет экскаватору работать на закруглениях без заклинивания ротора в траншее, а также при поворотных движениях экскаватора с полуприцепным рабочим оборудованием в транспортном положении.

Роторные траншейные экскаваторы оборудуют автономной дизельной силовой установкой 1. Для передачи движения исполнительным механизмам (ходовому устройству, ротору, отвальному конвейеру и вспомогательным устройствам для подъема рабочего оборудования и отвальной секции двухсекционного конвейера, установки дополнительных опор) применяют механические, гидромеханические и электрические трансмиссии.

В гидромеханическом варианте привод ходового устройства в рабочем режиме обеспечивается гидромотором, питаемым рабочей жидкостью от регулируемого насоса. Эта схема обеспечивает бесступенчатое регулирование скоростей в нескольких диапазонах при совместной работе коробки передач и ходоуменьшителя и позволяет выбирать рациональные скоростные режимы в зависимости от категории разрабатываемых грунтов.

Ротор приводится через механическую трансмиссию на тягаче, две двухступенчатые цепные передачи 16 и две открытые зубчатые пары шестерня - зубчатый венец ротора с каждой стороны последнего. Движение отвальному конвейеру передается от приводного вала ротора через систему цепных передач. Применяется также индивидуальный привод ротора и отвального конвейера от электродвигателей, питаемых электроэнергией от приводимого дизелем генератора переменного тока. Для привода вспомогательных механизмов используют обычно объемный гидропривод с нерегулируемыми насосами.

Техническая производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$) роторного экскаватора обеспечивается z ковшами вместимостью q (м^3) и частотой вращения ротора n (об/мин) в соответствии с зависимостью:

$$P_T = 60 \cdot q \cdot z \cdot n \cdot k_n / k_p, \quad (4.7)$$

где $k_n = 0,8 \div 0,9$ – коэффициент наполнения ковшей (меньшие значения для мелкофракционных сыпучих, а также липких грунтов, большие – для сыпучих кусковатых грунтов); k_p – коэффициент разрыхления грунта (см. табл. 2.2).

Этой формулой определяется наибольшая возможная техническая производительность экскаватора, обеспечиваемая его параметрами при условии достаточной мощности силовой установки.

В качестве примера найдем максимально возможную скорость передвижения (подачи) роторного траншейного экскаватора ЭТР-204, разрабатывающего траншею глубиной $H=2$ м, шириной по дну $B=1,2$ м с откосами с началом от дна $h = 0,8$ м при ширине по верху $B_{\text{отк}}=2,02$ м в суглинистом грунте IV категории. Вместимость одного ковша $q=140$ л; число ковшей на роторе $z=14$; частота вращения ротора $n=1,24$ об/мин.

Принимаем коэффициент наполнения ковшей $k_n=0,9$; коэффициент разрыхления грунта (согласно табл. 2.2) $k_p=1,3$. При условии достаточной мощности привода технически возможную производительность найдем по формуле (39):

$$P_T = 60 \cdot 0,14 \cdot 14 \cdot 1,24 \cdot 0,9 / 1,3 = 100,96 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Площадь поперечного сечения траншеи:

$$F_{\text{тр}} = (B + B_{\text{отк}}) (H-h) / 2 + B h = (1,2 + 2,02) (2 - 0,8) / 2 + 1,2 \cdot 0,8 = 2,89 \text{ м}^2.$$

Максимально возможная скорость подачи:

$$V_{\text{п max}} = \Pi_{\text{т}} / F_{\text{тр}} = 100,96 / 2,89 = 34,93 \text{ м/ч.}$$

У цепных экскаваторов (рис. 4.38, а) отвальный конвейер 4 расположен на тягаче 1, а рабочее оборудование 7 соединено с тягачом по навесной схеме с помощью тяг 3 и 5 и может быть установлено в транспортное или рабочее положение на требуемую глубину траншеи гидроцилиндром 2. Рабочее оборудование состоит из рамы, двух ведущих звездочек или приводного граненого барабана, устанавливаемых в верхней части рамы, двух натяжных колес в ее нижней части и огибающей их опирающейся на ролики замкнутой длиннозвенной цепи, на которой с определенным шагом закреплены ковши или заменяющие их рабочие органы.

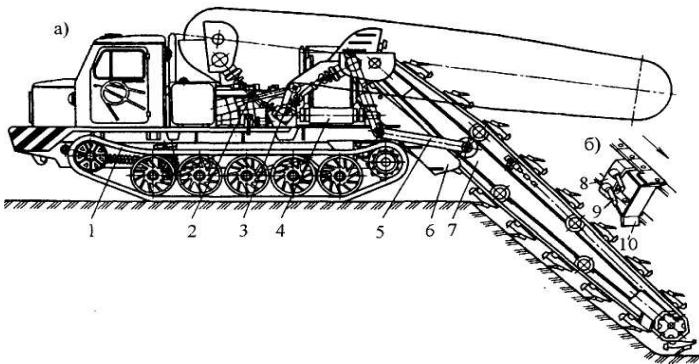


Рис. 4.38. Цепной траншейный экскаватор

В последнее время в качестве рабочих органов используют комбинированные рабочие элементы (рис. 4.38, б) из скребков 10 и установленных на арках 8 зубьев 9. Зубья отделяют грунт от массива, а следующий за ними скребок выносит его из траншеи. В пределах траншеи выносимый из нее грунт блокирован от просыпания лобовой и боковыми стенками, а по

выходе из траншеи он перемещается в лотке 6 (рис. 4.38, а), из которого отсыпается на отвальный конвейер [1, 7, 17].

Для разработки узких траншей применяют скребковые экскаваторы (рис. 4.39, а) на базе пневмоколесных тракторов, рабочее оборудование которых 2 включает приводную 6 (рис. 4.39, б) и натяжную 10 звездочки, огибающую их цепь 9 с закрепленными на ней резцами 8 и скребками 7 и приводимый скребковой цепью через звездочку 4 винтовой конвейер 5 с двумя шнеками противоположной направленности. Резцы установлены попарно – первым следует узкий резец, оставляющий после себя узкую прорезь, за ним – расширяющий резец. Отделенный резцами от массива грунт выносится из траншеи скребком, где он отодвигается от бровок траншеи на обе ее стороны шнеком (рис. 4.39, в). Дно траншеи зачищается щитом 1 (см. рис. 4.39, а). Устанавливают рабочее оборудование в рабочее или в транспортное положение гидроцилиндром 3.

Техническая производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$) цепного экскаватора обеспечивается ковшами или заменяющими их рабочими органами вместимостью q (м^3), установленными с шагом t (м), и скоростью рабочей цепи $v_{\text{ц}}$ (м/с) в соответствии с зависимостью:

$$P_{\text{т}} = 3600 \ q \ v_{\text{ц}} \ k_{\text{н}} / (tk_{\text{р}}). \quad (40)$$

Значения коэффициента наполнения $k_{\text{н}}$ как и для роторных экскаваторов (см. выше).

Роторные экскаваторы поперечного копания, называемые также *роторными стреловыми экскаваторами*, применяют для разработки однородных или с не крупными каменистыми включениями грунтов до IV категории включительно. Их используют на вскрышных работах и карьерной добыче строительных материалов, разработке больших котлованов и других выемок в промышленном и мелиоративном строительстве, возведении насыпей, дамб, плотин, на погрузочно-разгрузочных работах на складах насыпных материалов. Мощные модели этих машин применяют также для разработки более тяжелых грунтов, открытой добычи угля и других полезных ископаемых.

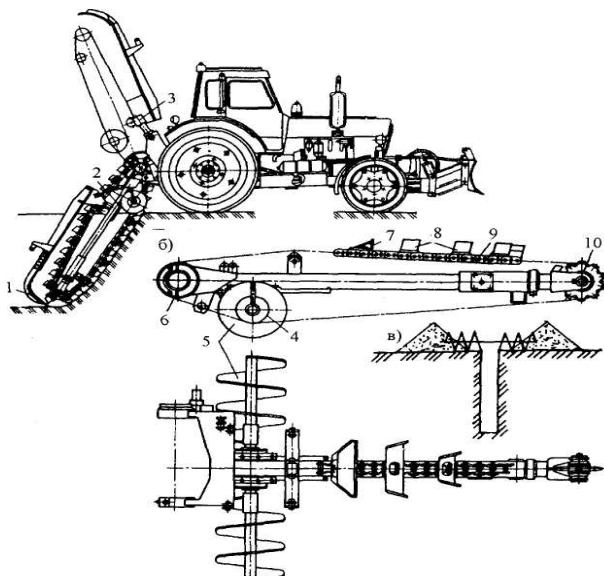


Рис. 4.39. Скреповый экскаватор на базе пневмоколесного трактора:
а – общий вид; б – рабочее оборудование; в – схема образования брусцов

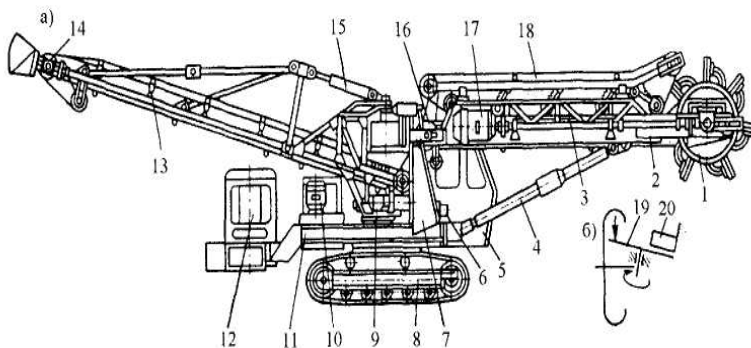


Рис. 4.40. Роторный экскаватор поперечного копания

Роторные экскаваторы (рис. 4.40, а), изготовленные на базе одноковшовых экскаваторов 4-ой и 6-ой размерных групп, разрабатывают грунты выше уровня стоянки

до 7,5 м и ниже этого уровня до 3,5 м при радиусе копания до 11,5 м и технической производительности в грунтах 1-ой категории до 550 м³/ч. По удельной энергоемкости эти машины находятся на уровне лучших экскаваторов непрерывного действия (0,22÷0,24 кВт/м³).

От базовых одноковшовых экскаваторов в конструкциях роторных стреловых экскаваторов сохранены: ходовое 8 и опорно-поворотное устройства, частично или полностью поворотная платформа 11, на которой расположена силовая дизель-генераторная установка 12 (обычно в хвостовой части с целью ее уравнивания), насосная станция 6, механизм поворота 10, кабина 5 с органами управления и две стойки-пилоны 7. В верхней части пилонов шарнирно закреплена стрела 2 с ротором 1 на конце и приемным ленточным конвейером 3, расположенным вдоль стрелы. Для работы на ярусах различных уровней стрела может поворачиваться в вертикальной плоскости гидроцилиндром 4. Ротор с ковшами по его периферии и тарельчатый питатель 19 (рис. 4.40, б) для перегрузки грунта на приемный конвейер приводятся во вращение электродвигателем 17 (рис. 4.40, а) через систему карданных валов и зубчатых передач, а приемный конвейер – мотор-барабаном 16 со встроенными в него электродвигателем и редуктором. Отвальный конвейер 13 опирается на центрально установленный подпятник 9 и может поворачиваться относительно него в плане посредством индивидуального электропривода. Вертикальное положение отвального конвейера регулируют гидроцилиндром 15. Приводится отвальный конвейер мотор-барабаном 14 на его дальнем конце.

Для работы *верхним копанием* (выше уровня стоянки) существует несколько технологических схем (рис. 4.41), по одной из которых машину располагают перед забоем на расстоянии вылета стрелы.

Отвальный конвейер устанавливают по высоте и в плане в положение разгрузки (в отвал или в транспортное средство).

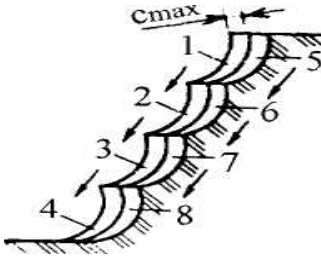


Рис. 4.41. Схемы разработки забоя роторным экскаватором

Вертикальным перемещением стрелы при вращающемся роторе или перемещением всего экскаватора на забой при фиксированной стреле ротор заглубляют в грунт на высоту яруса 1 (рис. 4.40). Фиксируя в этом положении стрелу, одновременным поворотом платформы и вращением ротора при движении ковшей снизу вверх разрабатывают грунт, отделяя его от массива, вынося ковшами вверх и разгружая на тарельчатый питатель 19 (см. рис. 4.40, б) в виде наклонного вращающегося диска. С помощью скребка 20 грунт ссыпается с питателя на приемный конвейер, транспортируется им к центральной части платформы и перегружается на отвальный конвейер, которым выносятся и разгружаются в транспортное средство или в отвал.

В конце поворотного перемещения платформы, ограниченного шириной захватки забоя, ротор со стрелой опускают до уровня следующего яруса 2 (рис. 4.41) и реверсивным движением поворотной платформы при прежнем вращении ротора повторяют экскавацию грунта. После разработки последнего яруса 4, чаще всего соответствующего уровню стоянки экскаватора, машину перемещают в направлении к забою на новую стоянку и повторяют землеройный процесс (5–8).

Для работы *нижним копаньем* ковши на роторе переставляют, поворачивая их на 180° , для возможности разработки грунта вращением ротора в обратном прежнему направлении. Опустив стрелу, грунт разрабатывают по описанной выше схеме для верхнего копания. Для надежного транспортирования грунта круто наклоненным приемным

конвейером используют прижимной конвейер 18 (см. рис. 4.41, а), который устанавливают над приемным конвейером. Грунт перемещается между лентами двух конвейеров, рабочие ветви которых движутся в одном направлении [18, 19].

Техническую производительность роторных экскаваторов определяют по формуле (40) при коэффициенте наполнения $k_n = 0,9 \div 1,2$.

Цепные экскаваторы поперечного копания применяют для добычи строительных материалов, в основном глины в карьерах кирпичных заводов. Их производительность достигает $45 \text{ м}^3/\text{ч}$ при глубине карьера до 8,5 м. Энергоемкость разработки грунта составляет от 0,39 до $1,33 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$.

Базовая часть машины состоит из нижней рамы 8 (рис. 4.41, а), металлоконструкций надстройки 9, рельсо-колесного ходового оборудования 7 и механизмов привода ковшовой цепи, ходового устройства, подъема и опускания ковшовой рамы с питанием электропривода от внешней электрической сети.

В процессе работы экскаватор перемещается по рельсам вдоль разрабатываемого карьера. Рабочий орган, состоящий из П-образной ковшовой рамы 5, подвешенный к стойке базовой части через два полиспаста 2 и 3, ковшовой цепи 6, приводного вала со звездочками, натяжных колес 1 и поддерживающих роликов 4, установлен поперек перемещения экскаватора. Выносимый из забоя грунт разгружается в бункер или на отвальный конвейер.

Ковшовая рама состоит из четырех шарнирно сочлененных участков: верхней 10 (рис. 4.41, б) и нижней 12 рам, верхнего 11 и нижнего 13 планирующих звеньев. С помощью полиспастов 2 и 3 можно получить различные конфигурации ковшовой рамы, которыми обеспечиваются требуемые схемы как нижнего (рис. 4.41, б, в), так и верхнего (рис. 4.41, г) копания. Техническую производительность цепных экскаваторов поперечного копания определяют по формуле (40) при коэффициенте наполнения ковшей $k_n = 0,7 \div 1,2$ (меньшие значения для плотных, большие – для слабых грунтов).

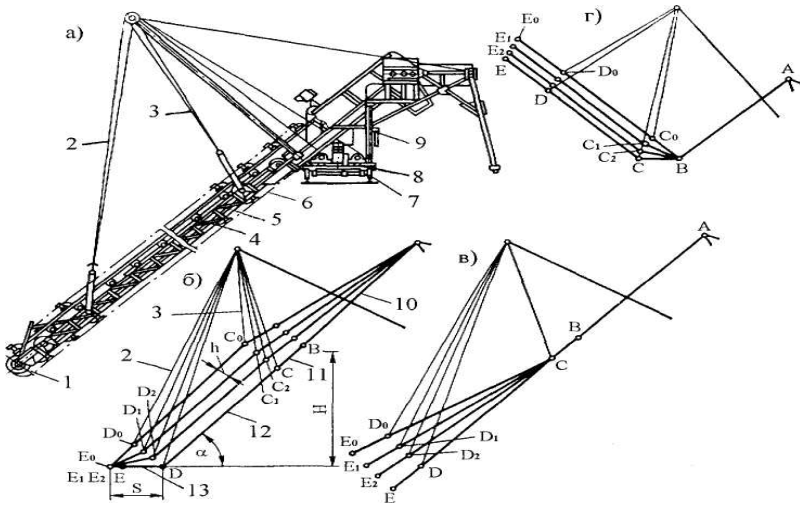


Рис. 4.41. Цепной экскаватор поперечного копания:
а – конструктивная схема; схемы копания – нижним параллельным
 (б), нижним веерным (в) и верхним параллельным (г)

5. ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ. РАСЧЕТ ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СКРЕПЕРОВ

Землеройно-транспортными (ЗТМ) называют машины, отделяющие грунт от массива тяговым усилием с последующим его перемещением к месту отсыпки собственным ходом. Основными рабочими операциями ЗТМ являются: послойная разработка грунта, его транспортировка и укладка в основание строительного объекта или отвал, а также планировка земляных поверхностей. В зависимости от вида рабочего органа различают ковшовые (скреперы) и отвальные (бульдозеры, автогрейдеры, грейдер-элеваторы) ЗТМ. Эти машины отличаются простотой конструкции, универсальностью и высокой производительностью. Их применяют в дорожном строительстве, при отрывке котлованов и каналов, возведении насыпей, планировке земляных поверхностей и на других работах.

Рабочий процесс включает два характерных режима: тяговый и транспортный. Исключение составляют грейдер-элеваторы, работающие только в тяговом режиме [9, 13, 18]. На тяговом режиме работают при копании грунта, а на транспортном – при его перемещении к месту отсыпки. Средняя продолжительность тягового режима от общего времени рабочего процесса составляет у скреперов $10\div 20\%$; у бульдозеров, работающих на послойной разработке грунтов – $20\div 25\%$; у бульдозеров и автогрейдеров на планировочных работах – $75\div 80\%$. Эффективность тягового режима зависит от способности машины передвигаться без буксования при повышенных сопротивлениях, а транспортного режима – в основном от скоростных качеств машины, ее проходимости и маневренности. Чаще ЗТМ при работе передвигаются по грунтовым и снежным дорогам, свежесрезанным и рыхлым насыпным грунтам. С повышением влажности грунта условия работы ЗТМ ухудшаются.

5.1. Скреперы. Расчет технико-экономических показателей скреперов

Скрепер (рис. 5.1) (англ. scraper, от scrape – скрести) – землеройно-транспортная машина, которая рабочим органом (ковшом) послойно срезает грунт с поверхности, транспортирует его и разгружает в отвал или разравнивает [8, 11]. Может использоваться для послойной разработки грунтов, их транспортировки и отсыпки слоя заданной толщины. Для увеличения производительности набор грунта скрепером производится с помощью трактора-толкача или бульдозера. Допускается загрузка экскаватором или ковшовым погрузчиком, что расширяет универсальность использования скрепера. Применение скреперов целесообразно для быстрого выполнения нулевого цикла земляных работ и передачи площадей для дальнейших строительных работ.

Скреперы классифицируются по виду тяги (самоходные и прицепные), способам загрузки и разгрузки (свободная и принудительная), параметрам ковша, типу привода и другим признакам. При наборе грунта скрепер движется вперёд с опущенным ковшом. Грунт разгружается обычно из ковша на ходу, высыпаясь между колёсами, реже – назад (за колёса). Возможна разгрузка грунта слоями толщиной до 0,5 м. Емкость ковшей скреперов, выпускаемых в РФ, 3–25 м³. Дальность перевозки грунта 0,1–5 км.

Внедряются скреперы с принудительной загрузкой ковша с помощью скребковых элеваторов и с автоматизированным управлением.

Скреперами разрабатывают грунты *I* и *II* категорий непосредственно, а грунты *III* и *IV* категорий – после их предварительного разрыхления. С этой целью они часто работают в одном комплекте с бульдозерами-рыхлителями, используемыми также в качестве толкачей для повышения силы тяги скреперов (см. ниже). Скреперы не рекомендуется применять для разработки заболоченных, несвязных переувлажненных грунтов, а также грунтов с большими каменистыми включениями.

Рабочий цикл скрепера включает копание (отделение грунта от массива и заполнение им ковша), транспортировку грунта в ковше к месту укладки, его отсыпку и возвращение машины на исходную позицию следующего рабочего цикла. Средняя дальность возки грунта скрепером колеблется от 0,3 до $2\div 3$ км при ковшах вместимостью соответственно от 5 до 46 м^3 . Удельный расход энергии – от 3,2 до 6 кВтч/м^3 .

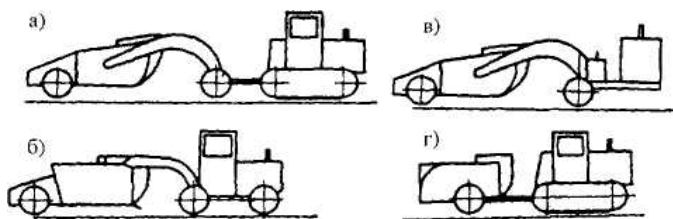


Рис. 5.1. Схемы соединения скреперов с тягачом

Главным параметром скрепера является вместимость ковша, в соответствии с которой различают скреперы малой (до 4 м^3), средней ($5\div 12 \text{ м}^3$) и большой (15 м^3 и более) вместимости. Скрепер состоит из тягача и рабочего оборудования, по способу соединения которых различают прицепные (рис. 5.1, а), полуприцепные (рис. 5.1, б) и самоходные (рис. 5.2, а и б) скреперы. У прицепных скреперов сила тяжести рабочего оборудования вместе с грунтом полностью передается на опорную поверхность через собственные ходовые устройства, а полуприцепные скреперы часть этой нагрузки передают на тягач. Обычно прицепные скреперы опираются на две ходовые оси. Существуют также одноосные прицепные скреперы (рис. 5.1, в), у которых центр масс груженого скрепера расположен над ходовой осью.

Тяговое усилие обеспечивается гусеничным (рис. 5.1, а и в), колесным одноосным (рис. 5.1, б) или двухосным (рис. 5.1, г) тягачом. У скреперов большой вместимости иногда приводными делают также задние колеса, оборудованные встроенным в них электрическим или гидравлическим приводом (мотор-колеса),

состоящим из электродвигателя или гидромотора и планетарного редуктора.

Первые колесные скреперы с конной тягой появились в 70-х годах XVIII в., а в конце XIX в. скреперы были установлены на одноосный ход с металлическими колесами и управлением от них с помощью рычажной системы положением ковша в рабочем и транспортном режимах. В качестве тягача использовался колесный трактор. В 1910 г. Т. Шмейзером (США) был создан скрепер с ковшем $5,4 \text{ м}^3$ с гидравлическим управлением ковшом, приводимым от колес трактора. Дальнейшее развитие конструкций скреперов шло по пути совершенствования ковшей и систем управления ими. В нашей стране массовое применение получили скреперы на конной тяге на строительстве Туркестано-Сибирской дороги в 20-х годах прошлого столетия, на Башжелдорстрое и других строительных объектах. В 1930-е годы были созданы скреперы с ковшами 5 м^3 с гидравлическим управлением и 6 м^3 с канатным управлением для работы с тракторами мощностью 48 кВт Челябинского тракторного завода. К концу 1950-х годов вместимость скреперного ковша уже достигла 46 м^3 при мощности тягача 440 кВт.

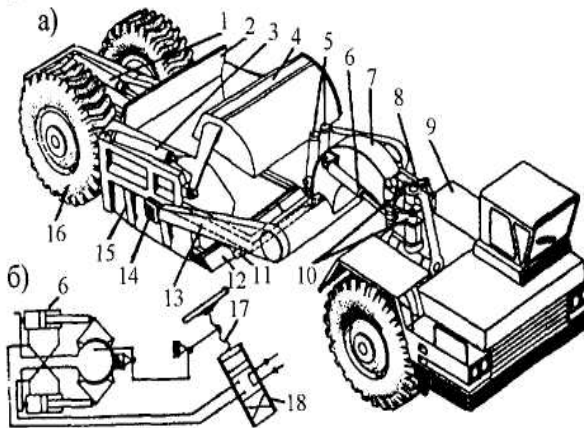


Рис. 5.2. Самоходный скрепер: а – общий вид; б – схема рулевого управления

Устройство и принцип работы скрепера рассмотрим на примере его самоходной модели (рис. 5.2, *а*). Одноосный тягач 9 соединен с рабочим оборудованием сцепным устройством 8 в виде двух цилиндрических шарниров, позволяющих тягачу поворачиваться и перекашиваться относительно рабочего оборудования. Рабочее оборудование включает ковш 15, опирающийся задней частью на колеса 16, а передней соединенный упряжными шарнирами 14 с боковыми брусками 13 тяговой рамы, которая своей передней балкой 7 опирается на тягач. Ковш ограничен днищем и боковыми стенками, а в задней части – выдвижной стенкой 2, перемещаемой при разгрузке ковша гидроцилиндрами 1. В передней части ковш закрывается заслонкой 4 гидроцилиндром 3.

Для разработки грунта переднюю заслонку приподнимают и, перемещаясь на рабочей скорости, гидроцилиндрами 5 опускают ковш, заглубляя его в грунт. При этом нижний обрез заслонки должен находиться примерно на уровне земли. После заполнения ковша его поднимают, закрывают заслонкой и на транспортной скорости перемещают к месту разгрузки. Чаще скреперы используют для отсыпки грунта в насыпи, для чего после выезда на насыпь ковш опускают, оставляя щель между ножами и поверхностью передвижения, открывают заслонку и, передвигаясь на малой скорости, задней стенкой выталкивают грунт из ковша. При этом задние колеса, перекашиваясь по свежееотсыпанному грунту, уплотняют его. Поворот тягача относительно ковша осуществляют с помощью гидроцилиндров 6, рабочие полости которых соединены по схеме (рис. 5.2, *б*), согласно которой поршневая полость каждого гидроцилиндра соединена со штоковой полостью другого гидроцилиндра. Рабочая жидкость поступает от насоса к гидроцилиндрам через гидрораспределитель 18, управляемый винтовой парой 17 от рулевой колонки.

Другие модели скреперов отличаются от описанной способом соединения рабочего оборудования с тягачом, устройством и приводом передней заслонки, конструкцией ковша и его подвеской, обеспечивающей отличные от описанного способы разгрузки: самосвальной – опрокидыванием ковша вперед или назад, полупринудительной

– опрокидыванием донной части ковша и задней стенки, способных перемешаться относительно шарниров на боковых стенках, щелевой – путем раздвижки днища и т. п. [18, 19].

Наиболее энергоемкой является операция копания грунта. Ковш заполняется номинальным объемом грунта, равным его геометрической вместимости $6 \div 15 \text{ м}^3$, на длине $9 \div 15 \text{ м}$ при средней толщине стружки $0,09 \div 0,16 \text{ м}$ при разработке глин и $0,2 \div 0,35 \text{ м}$ при разработке песков. Для заполнения ковша "с шапкой" (выше его геометрической вместимости) длина пути копания увеличивается в среднем на 20 %. Ковш наполняется лучше при движении скрепера под уклон. При постоянной толщине стружки постоянной скорости передвижения тяговая способность скрепера реализуется полностью лишь в конце копания. С целью сокращения длительности этой операции за счет использования резерва тяги в течение всей операции при разработке связных грунтов применяют клиновой способ – максимально возможное по тяговому усилию заглубление ковша в начале операции с постепенным углублением по мере его заполнения.

Основным недостатком разработки грунтов с высоким коэффициентом внутреннего трения является ограниченная возможность проталкивания грунта в ковш через слой находящегося там грунта в заключительной стадии заполнения ковша. Вследствие этого тяговая способность скрепера может исчерпаться прежде, чем заполнится ковш. Так, без применения специальных мер ковш скрепера заполняется сухим песком лишь на 60÷70 %. С повышением влажности до 12÷15 % наполнение ковша составляет 70÷90 %. При разработке сухой глины и дресвы коэффициент наполнения составляет $k_n = 1 \div 1,1$, еще лучшее наполнение при разработке супесей и суглинков влажностью 4÷6 % ($k_n = 1,1 \div 1,2$), а также черноземов той же влажности ($k_n = 1,1 \div 1,25$). Более эффективно заполняются ковши со ступенчатыми 11 и 12 (см. рис. 5.1, а) или полукруглыми, выступающими в средней части ножами, где грунтовая стружка имеет большую толщину. Лучшие результаты дает принудительная загрузка, для чего в передней части ковша устанавливают скребковый элеватор (рис. 5.3) или шнеки, которые отделенный от массива грунт забрасывают в ковш.

Такая загрузка повышает наполнение ковша в среднем на 20 %. Повысить наполняемость ковша можно за счет увеличения тягового усилия путем применения толкачей, в качестве которых используют оборудованные буферами тракторы или бульдозеры.

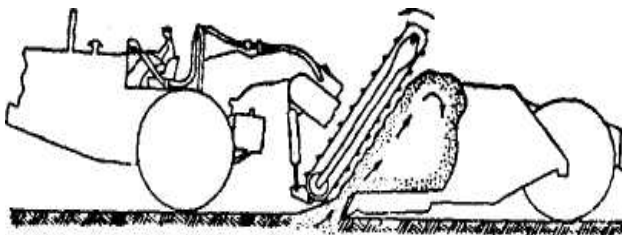


Рис. 5.3. Загрузка ковша скрепера скребковым элеватором

При копании толкач заходит в хвост скрепера и, упираясь в его буфер (за задними колесами), сообщает ему дополнительное тяговое усилие. Это позволяет увеличить толщину стружки в среднем на 40 %. Толкачи эффективно применять при бригадной работе нескольких скреперов. В зависимости от вместимости ковша и дальности возки один толкач может обслуживать от 2 до 16 скреперов, оставаясь все время в зоне разработки грунта. Еще более эффективно применение скреперных поездов, состоящих из двух самоходных скреперов, соединяемых на время копания управляемым сцепным устройством. Сначала совместным тяговым усилием двух тягачей заполняется передний скрепер, а затем задний, после чего скреперы разъединяются и движутся к месту отсыпки грунта раздельно. При таком способе ковши могут быть наполнены более чем на 10 % выше их геометрической вместимости.

При работе в транспортном режиме груженные скреперы преодолевают уклоны до 12÷15 %, а с порожним ковшом – до 15÷17 %. Предельная крутизна спусков для груженных скреперов составляет 20÷25 %, с порожним ковшом – 25÷30 %, меньшие значения – для самоходных, большие – для прицепных скреперов. Крутые подъемы преодолеваются груженными скреперами с помощью толкачей.

Техническую производительность скреперов ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяют как

$$P_T = \frac{3600 q k_H}{k_p t_{\text{ц}}}, \quad (5.1)$$

где q – геометрическая вместимость ковша, м^3 ; k_H – коэффициент его наполнения (в среднем для скреперов без толкачей при разработке песков – $0,6 \div 0,9$; глин – $1 \div 1,1$; супесей и суглинков – $1,1 \div 1,2$; черноземов – $1,1 \div 1,25$); $t_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла, с; k_p – коэффициент разрыхления грунта.

Продолжительность рабочего цикла определяют суммой:

$$t_{\text{ц}} = 3,6 [l_{\text{к}}/v_{\text{к}} + l_{\text{тг}}/v_{\text{тг}} + l_{\text{р}}/v_{\text{р}} + l_{\text{тп}}/v_{\text{тп}}] + t_{\text{п}} n,$$

где $l_{\text{к}}$, $l_{\text{тг}}$, $l_{\text{р}}$ и $l_{\text{тп}}$ – длины путей соответственно при копании, передвижении груженого скрепера, разгрузке и передвижении порожнего скрепера, м; $v_{\text{к}}$, $v_{\text{тг}}$, $v_{\text{р}}$ и $v_{\text{тп}}$ – скорости передвижения на этих путях, км/ч; $t_{\text{п}}$ – продолжительность одного поворота, с (в среднем $12 \div 15$ с); n – число поворотов за рабочий цикл.

Длины путей копания $l_{\text{к}}$ (м) и разгрузки $l_{\text{р}}$ (м):

$$l_{\text{к}} = \frac{q k_H}{B c_{\text{ср}} k_p}; \quad l_{\text{р}} = \frac{q k_H}{B h}, \quad (5.2)$$

где B – ширина ковша, м; $c_{\text{ср}}$ – средняя толщина грунтовой стружки, м; h – толщина слоя отсыпки грунта, м.

Длины путей $l_{\text{тг}}$ и $l_{\text{тп}}$, а также число поворотов n определяют в соответствии со схемой передвижения скрепера. Скорость $v_{\text{к}}$ в среднем составляет $0,65 \div 0,8$ паспортной скорости тягача на первой передаче, $v_{\text{р}}$ – примерно $0,75$ паспортной скорости.

Эксплуатационная производительность: $P_{\text{э}} = P_T k_{\text{в}}$,

где $k_{\text{в}}$ – коэффициент использования скрепера во времени (в среднем при расчете сменной, месячной и годовой производительности соответственно равен $0,8 \div 0,9$; $0,5 \div 0,65$; $0,4 \div 0,5$).

Методику расчета производительности скрепера, в составе которой определяются также сопротивления его передвижению

на всех этапах рабочего цикла, проиллюстрируем следующим примером.

Пусть требуется определить техническую производительность самоходного скрепера на базе пневмоколесного одноосного тягача по следующим исходным данным: мощность силовой установки $P = 265$ кВт; колесная формула 4х2; скорости движения (км/ч) на передачах: I – 5,87; II – 7,10; III – 9,44; IV – 13,73; V – 17,38; VI – 23,40; VII – 26,88; VIII – 33,14; масса скрепера $m_c = 25400$ кг, в т. ч. тягача $m_t = 11550$ кг; вместимость ковша $q = 12$ м³; ширина резания $B = 3,03$ м; наибольшее заглубление $h_{\text{загл. max}} = 250$ мм; толщина отсыпаемого слоя $h_{\text{отс}} = 450$ мм; разрабатываемый грунт – суглинок плотностью $\rho = 1,7$ т/м³, коэффициент разрыхления $k_p = 1,3$, удельное сопротивление резанию $k'_1 = 95$ кПа; участок разработки горизонтальный; суммарная протяженность трассы транспортирования без уклонов – 1,6 км, с подъемами 8° – 0,5 км, со спусками 10° – 0,9 км.

Как следует из колесной формулы, приводными являются колеса одноосного тягача. Нормальную нагрузку движителя на поверхность передвижения в начале копания определим по формуле:

$$G = [m_t + k_n (m_c - m_t)] g = [11,55 + 0,4 (25,4 - 11,55)] 9,81 = 167,65 \text{ кН},$$

где $k_n = 0,4$ – коэффициент, учитывающий пригрузку тягача буксируемым скрепером; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

Предполагая, что при копании скрепер движется по рыхлому грунту, коэффициент сцепления движителя (шин низкого давления) с почвой принимаем $f = 0,6$, после чего максимальное тяговое усилие по сцеплению с поверхностью передвижения определим по формуле:

$$T_{\text{к. max}}(f) = G f = 167,65 \cdot 0,6 = 100,59 \text{ кН}.$$

Минимальная теоретическая (без учета буксования) скорость передвижения на первой передаче:

$$v_{\text{min. теор}} = 1000 v_1 / 3600 = 1000 \cdot 5,87 / 3600 = 1,63 \text{ м/с}.$$

Максимальное тяговое усилие по мощности силовой установки:

$$T_{\max}(P) = P \cdot k_p / v_{\min, \text{теор}} = 265 \cdot 0,8 / 1,63 = 130,06 \text{ кН},$$

где $k_p = 0,8$ – к.п.д. привода ходового устройства.

Для дальнейшего расчета принимаем меньшее из двух вычисленных значений $T_{\kappa, \max} = T_{\kappa, \max}(f) = 100,59 \text{ кН}$.

Толщину стружки в начале копания по условиям полного использования тягового усилия определим как:

$$c_0 = \frac{T_{\kappa, \max} \cdot m_{\text{сгф}}}{k'_B} = \frac{100,59 \times 25,4 \times 9,81 \times 0,15}{95 \times 3,03} = 0,22 \text{ м},$$

где $f = 0,15$ – коэффициент сопротивления движению.

Механизм опускания отвала обеспечивает требуемое заглубление ($c_0 < h_{\text{загл. max}} = 0,25 \text{ м}$).

Масса грунта в ковше в конце копания при коэффициенте наполнения $k_n = 1,15$ составит:

$$m_{\text{г}} = q \cdot k_n \cdot \rho / k_p = 12 \cdot 1,15 \cdot 1,7 / 1,3 = 18,05 \text{ т}.$$

Сила нормального давления движителя на поверхность передвижения:

$$G = [m_{\text{г}} + \kappa_n (m_{\text{с}} - m_{\text{г}} + m_{\text{г}})] g = [11,55 + 0,4(25,4 - 11,55 + 18,05)] 9,81 = 238,48 \text{ кН}.$$

Максимальное тяговое усилие по сцеплению в конце копания

$$T_{\kappa, \max}(f) = Gf = 238,48 \cdot 0,6 = 143,09 \text{ кН}.$$

Тот же параметр по мощности двигателя остается прежним $T_{\max}(P) = 130,06 \text{ кН}$. Для дальнейшего расчета принимаем меньшее из этих двух значений $T_{\kappa, \max} = T_{\max}(P) = 130,06 \text{ кН}$.

Среднюю высоту грунта в ковше в конце копания найдем по эмпирической зависимости:

$$H = 0,5 B k_n = 0,5 \cdot 3,03 \cdot 1,15 = 1,74 \text{ м}.$$

Сопротивления передвижению скрепера в конце копания: самопередвижению –

$$W_c = (m_c + m_r) \cdot g = (25,4 + 18,05) \cdot 9,81 \cdot 0,15 = 63,94 \text{ кН};$$

резанию $-W_p = k'_1 B c_k = 95,3,03 c_k = 287,85 c_k \text{ кН};$

перемещению грунта в ковш –

$$W'_r = x B H^2 \rho g / k_p = 0,37 \cdot 3,03 \cdot 1,74^2 \cdot 1,7 \cdot 9,81 / 1,3 = 43,54 \text{ кН};$$

подъему грунта в ковше –

$$W''_r = c_k B H \rho g / k_p = 0,22 \cdot 3,03 \cdot 1,74 \cdot 1,7 \cdot 9,81 / 1,3 = 67,63 c_k \text{ кН};$$

перемещению призмы волочения –

$$W_n = y B H^2 \rho g m / k_p = 0,5 \cdot 3,03 \cdot 1,74^2 \cdot 1,7 \cdot 9,81 \cdot 0,35 / 1,3 = 20,59 \text{ кН},$$

где x – коэффициент пропорциональности, зависящий от угла внутреннего трения грунта (для суглинков и супесей $x=0,37 \div 0,41$; принимаем $x=0,37$); c_k – толщина стружки в конце копания, м; y – коэффициент высоты призмы волочения ($y=0,5 \div 0,6$; принимаем $y=0,5$); $m=0,35$ – коэффициент внутреннего трения грунта.

Полной реализации тягового усилия соответствует уравнение тягового баланса

$$T_{\text{к.макс}} = W_c + W_p + W'_r + W''_r + W_n,$$

которое, с использованием полученных выше значений сопротивлений, приводится к виду:

$$355,48 c_k = 1,99 \text{ кН}, \text{ откуда } c_k = 1,99 / 355,48 = 0,006 \text{ м}.$$

Средняя расчетная толщина стружки

$$c_{\text{ср}} = (c_o + c_k) / 2 = (0,22 + 0,006) / 2 = 0,113 \text{ м}.$$

Длину пути копания найдем из условия заполнения ковша с коэффициентом $k_n=1,15$:

$$l_k = \frac{q k_n}{B c_{\text{ср}} k_p} = \frac{12 \times 1,15}{3,03 \times 0,113 \times 1,3} = 31 \text{ м}.$$

Вследствие буксования (коэффициент буксования $K_b=0,25$) фактическая скорость копания составит

$$v_k = v_{\min, \text{теор}} (1 - k_b) = 1,63(1 - 0,25) = 1,22 \text{ м/с.}$$

Продолжительность операции копания:

$$t_k = l_k / v_k = 31 / 1,22 = 25,41 \text{ с.}$$

Тяговое усилие для операции передвижения груженого скрепера к месту отсыпки грунта на горизонтальном участке определяем при прежнем нормальном усилии $G=238,48 \text{ кН}$ для конца копания с прежним коэффициентом сцепления $k = 0,6 - T_{\text{т.г. max}}(k)=143,06 \text{ кН}$. При движении с уклонами 8° и 10° тяговое усилие составит соответственно:

$$T_{\text{т.г. max}}(8) = T_{\text{т.г. max}}(k) \cos 8^\circ = 143,06 \cos 8^\circ = 141,67 \text{ кН};$$

$$T_{\text{т.г. max}}(10) = T_{\text{т.г. max}}(k) \cos 10^\circ = 143,06 \cos 10^\circ = 140,89 \text{ кН.}$$

Во всех случаях передвижения груженого скрепера максимальное тяговое усилие по сцеплению больше такового, рассчитанного по мощности двигателя, в связи с чем за расчетное принимаем $T_{\text{т.г. max}} = T_{\text{max}}(P) = 130,06 \text{ кН}$.

При движении по трассе без уклонов сопротивление передвижению $W_c = 63,94 \text{ кН}$;
скорость передвижения

$$v_{\text{т.г.}(0)} = P k_p / W_c = 265 \cdot 0,8 / 63,94 = 3,32 \text{ м/с} = 11,94 \text{ км/ч.}$$

Согласно технической характеристике тягача принимаем

$$v_{\text{т.г.}(0)} = 9,44 \text{ км/ч} = 2,62 \text{ м/с.}$$

При заданной суммарной длине участков без уклонов $l_{\text{т.г. гор}} = 1,6 \text{ км}$ продолжительность движения составит

$$t_{\text{т.г.}(0)} = 1600 / 2,62 = 610,69 \text{ с.}$$

Для расчета тех же параметров при движении по трассе с уклонами предварительно переведем заданные уклоны в градусном измерении в безразмерные: уклонам 8° и 10° соответствуют $i=0,141$ и $0,176$. При движении на подъеме с углом 8° ($i=0,141$) сопротивление передвижению

$$\begin{aligned} W_{\text{с.т.г.}(+8)} &= (m_c + m_r) g(f+i) = (25,4 + 18,05) \cdot 9,81 \cdot (0,15 + 0,141) \\ &= 124,04 \text{ кН,} \end{aligned}$$

что меньше допускаемого $T_{т.г.макс}=130,06$ кН. Максимальная скорость передвижения на этом участке: $v_{т.г.}(+8) = 265 \cdot 0,8 / 124,04 = 1,71$ м/с = 6,15 км/ч.

Согласно технической характеристике тягача принимаем $v_{т.г.+8} = 5,87$ км/ч = 1,63 м/с. Продолжительность движения при $l_{т.г.+8} = 0,5$ км:

$$t_{т.г.}(+8) = 500 / 1,63 = 306,75 \text{ с.}$$

При спуске с углом -10° ($i = -0,176$):

$$W_{с.т.г.-9} = (25,4 + 18,05) \cdot 9,81 \cdot (0,15 - 0,176) = -11,08 \text{ кН.}$$

Отрицательный результат указывает на то, что составляющая силы тяжести груженого скрепера, действующая в направлении его движения, больше сопротивлений передвижению. При спуске в двигательном режиме, согласно технической характеристике тягача, принимаем наибольшую скорость передвижения $v_{т.г.}(-10) = 33,14$ км/ч = 9,21 м/с. Продолжительность спуска при $l_{т.г.}(-10)=0,9$ км составит:

$$t_{т.г.}(-10) = 900 / 9,21 = 91,12 \text{ с.}$$

Суммарная продолжительность транспортирования груженого скрепера:

$$t_{т.г.} = t_{т.г.}(0) + t_{т.г.}(+8) + t_{т.г.}(-10) = 610,69 + 306,75 + 97,72 = 1015,16 \text{ с.}$$

Найдем длину участка разгрузки грунта толщиной отсыпаемого слоя $h_{отс}=0,45$ м:

$$l_{разгр} = \frac{qk_n}{Bh_{отс}} = \frac{12}{3,03} \frac{1,15}{0,45} = 10,12 \text{ м.}$$

Разгрузку грунта выполняем на той же скорости, что и его копание $v_{разгр} = v_k = 1,22$ м/с. Тогда продолжительность разгрузки грунта составит:

$$t_p = 10,12 / 1,22 = 8,3 \text{ с.}$$

При движении порожнего скрепера в обратном направлении горизонтальный участок увеличится на длину пути копания и разгрузки:

$$l_{т.п.(0)} = l_{т.г.(0)} + l_k + l_p = 1600 + 31 + 10,12 = 1641,12 \text{ м},$$

прежние подъемы станут спусками, а спуски – подъемами без изменения их длин. При движении на горизонтальном участке сила нормального давления движителя на поверхность передвижения составит:

$$G = [m_t + \kappa_n (m_c - m_v)] g = [11,55 + 0,4(25,4 - 11,55)] \cdot 9,81 = 167,65 \text{ кН},$$

а соответствующее этой силе тяговое усилие по сцеплению –

$$T_{т.п.макс}(f) = G f = 167,65 \cdot 0,6 = 100,59 \text{ кН}.$$

При движении на уклонах 8° и 10° тяговое усилие составит соответственно:

$$T_{т.п.макс}(8) = T_{т.п.макс}(f) \cos 8^\circ = 100,59 \cos 8^\circ = 99,61 \text{ кН};$$

$$T_{т.г.макс}(10) = T_{т.г.макс}(f) \cos 10^\circ = 143,06 \cos 10^\circ = 99,06 \text{ кН}.$$

Эти усилия являются расчетными для соответствующих участков передвижения, поскольку каждое из них меньше максимального тягового усилия, рассчитанного по мощности двигателя $T_{макс}(P) = 130,06 \text{ кН}$.

Соппротивление передвижению порожнего скрепера на горизонтальном участке пути:

$$W_{с.п.(0)} = m_c g f = 25,4 \cdot 9,81 \cdot 0,15 = 37,38 \text{ кН} < T_{т.п.макс} = 100,59 \text{ кН}.$$

Максимальная скорость передвижения на этом участке:

$$v_{т.п.(0)} = P \kappa_p / W_{с.п.(0)} = 265 - 0,8 / 37,38 = 5,67 \text{ м/с} = 20,42 \text{ км/ч}.$$

Принимаем по технической характеристике тягача

$$v_{т.п.(0)} = 17,38 \text{ км/ч} = 4,83 \text{ м/с}.$$

Продолжительность движения порожнего скрепера на горизонтальном участке:

$$t_{т.п.(0)} = 1641,12 / 4,83 = 339,78 \text{ с}.$$

Соппротивление передвижению порожнего скрепера на подъеме с углом 10° :

$$W_{с.п.(0)} = m_c g (f + i) = 25,4 \cdot 9,81 (0,15 + 0,176) = 81,23 \text{ кН} < T_{т.п.макс} = 100,59 \text{ кН}.$$

Максимальная скорость передвижения на этом участке:

$$v_{т.п.(+10)} = P \kappa_p / W_{с.п.(+10)} = 265 \cdot 0,8 / 81,23 = 2,61 \text{ м/с} = 9,4 \text{ км/ч.}$$

Принимаем по технической характеристике тягача

$$v_{т.п.(+10)} = 7,1 \text{ км/ч} = 1,97 \text{ м/с.}$$

Продолжительность движения:

$$t_{т.п.(+10)} = 900 / 1,97 = 456,85 \text{ с.}$$

Сопротивление передвижению порожнего скрепера на спуске с углом 8° :

$$W_{с.п.(-8)} = m_c g(f - i) = 25,4 \cdot 9,81(0,15 - 0,141) = 2,24 \text{ кН} < T_{т.п.макс} = 100,59 \text{ кН.}$$

Максимальная скорость передвижения на этом участке:

$$v_{т.п.(-8)} = N_3 / W_{с.п.(-8)} = 265 \cdot 0,8 / 2,24 = 94,64 \text{ м/с} = 340,7 \text{ км/ч.}$$

Принимаем по технической характеристике тягача $v_{т.п.(-8)} = 33,14 \text{ км/ч} = 9,21 \text{ м/с.}$

Продолжительность движения:

$$t_{т.п.(+10)} = 500 / 9,21 = 54,29 \text{ с.}$$

Суммарная продолжительность транспортирования порожнего скрепера:

$$t_{т.п.} = t_{т.п.(0)} + t_{т.п.(+10)} + t_{т.п.(-8)} = 339,78 + 456,78 + 54,29 = 850,92 \text{ с.}$$

Продолжительность рабочего цикла скрепера определим как:

$$t_{ц} + t_{к} + t_{р} + t_{т.п.} + 2t_{пов} = 25,41 + 1015,16 + 8,3 + 850,92 + 2 \cdot 17,5 = 1934,79 \text{ с,}$$

где $t_{пов} = 17,5 \text{ с}$ – продолжительность одного поворота. В расчете принято два поворота (на концах участков передвижения).

Техническую производительность скрепера определим по формуле (5.1):

$$П_T = \frac{3600 q k_u}{t_u k_p} = \frac{3600}{1934,79} \cdot \frac{12}{1,3} \cdot \frac{1,15}{1} = 19,75 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

5.2. Бульдозеры. Конструктивные особенности и технико-экономические показатели

Бульдозеры являются землеройно-транспортными машинами с отвальным рабочим органом (рис. 5.4).

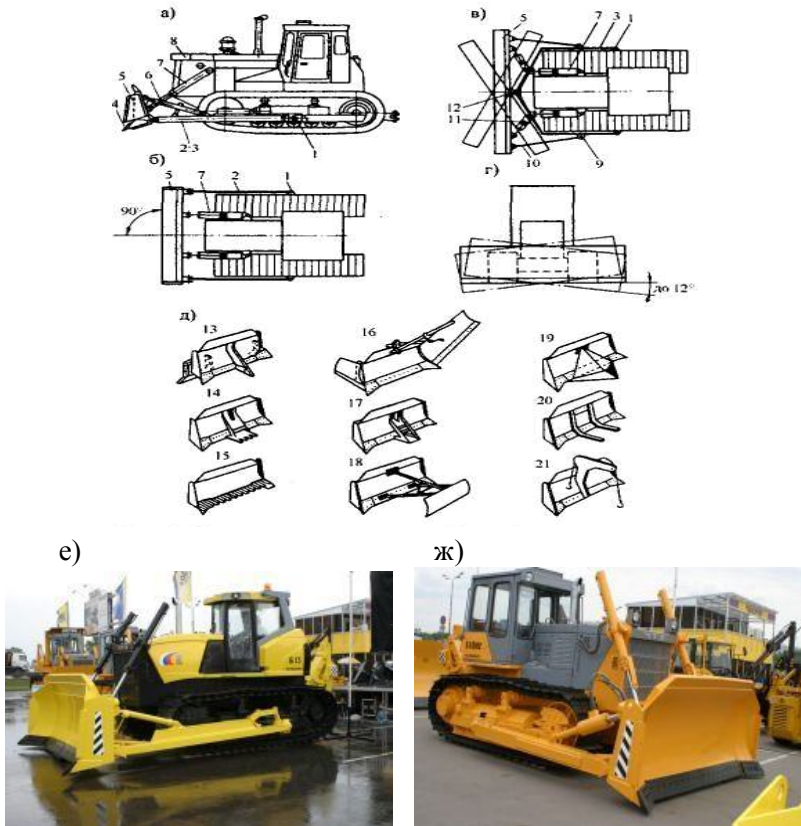


Рис. 5.4. Бульдозер: а, е – вид сбоку; б – вид в плане на бульдозер с неповоротным отвалом; в – то же с поворотным отвалом; г – перекоп отвала; д – сменные рабочие органы, ж – трактор Т-170

Бульдозер – землеройная машина, представляющая собой гусеничный или колёсный трактор, тягач и тому подобные с

навесным рабочим органом – криволинейным в сечении отвалом (щитом), расположенным вне базы ходовой части машины. Служит для послойного копания, планировки и перемещения (на расстояние 60–150 м) грунтов при планировке стройплощадки, на строительстве и ремонте дорог, каналов, гидротехнических и тому подобных сооружений. Различают бульдозеры: с неповоротным отвалом, установленным перпендикулярно продольной оси базовой машины; с поворотным отвалом, который в горизонтальной плоскости можно устанавливать под углом в обе стороны от продольной оси машины или перпендикулярно к ней; универсальные с отвалом из двух шарнирно сочленённых половин, устанавливаемых в горизонтальной плоскости под различными углами к продольной оси машины или перпендикулярно к ней (путепрокладчик). Отвалы всех типов бульдозеров оснащаются механизмами с гидравлическим, канатным или электромеханическим приводом для подъема – опускания, поворотов в плане, перекосов в поперечной плоскости, наклона вперед-назад по ходу. Бульдозеры снабжаются сменным оборудованием (рыхлительными зубьями, откосниками, уширителями, открылками и др.), расширяющим область их применения и повышающим эффективность на отдельных работах [19].

Их основное назначение – послойная разработка грунта с последующим его перемещением перед отвалом по поверхности земли на небольшие расстояния (до 150 м). К примеру, трактор Т-170 имеет тележку с тремя катками, опирающимися на резиновые амортизаторы. Кабина у тракторов одноместная, установлена на резиновых амортизаторах. Кабина оснащена шумопоглощающей обивкой, стеклопакет должен исключать обледенение стекол, в кабине также установлен независимый отопитель, работающий на дизельном топливе.

Топливный бак трактора имеет объем от 400 литров. Скорость движения может достигать 13 километров в час.

Трактор – самоходная безкузовная машина на гусеничном или колесном ходу, предназначенная для продолжительных работ в тяговом (силовом) режиме, которые составляют 70–80 % общего времени ее эксплуатации может быть с прицепным и навесным оборудованием.

Тягач – самоходная машина (на пневмоколесном ходу), предназначенная для работы в основном транспортном режиме (примерно 70–90 % общего времени ее эксплуатации) с прицепным, полуприцепным и навесным оборудованием.

Трактор – самоходная машина для тяги и приведения в действие машин, орудий. Трактор бывает колёсный, гусеничный, пропашной, садовый, трелёвочный. Трактор обычно имеет двигатель ЯМЗ или МТА. Двигатель может быть дизельным, бензиновым. На большинстве моделей трактора стоит 4-тактный двигатель, с непосредственным впрыском топлива, с жидкостным охлаждением, турбонаддувом.

Специальные шасси – самоходная машина (преимущественно на колесном ходу) комплектуется из агрегатов автомобилей, которые выпускаются серийно, тракторов, тягачей (двигатели, мосты, системы управления и др.), или имеет раму специальной конструкции, позволяющую устанавливать специальное оборудование (например, погрузчика крана экскаватора и др.), и в зависимости от назначения имеет режим работы трактора или тягача [18, 19].

Бульдозер состоит из гусеничного или колесного трактора, оборудованного отвалом. Отвал устанавливается перпендикулярно к продольной оси трактора или под углом – углом поворота отвала в плане, т. е. угол между продольной осью трактора и режущим лезвием отвала. В последнем случае машина называется бульдозером с поворотным отвалом. Кроме того, отвал иногда может поворачиваться в поперечной вертикальной плоскости и наклоняться, изменяя угол наклона.

При установке отвала перпендикулярно продольной оси трактора бульдозер с поворотным отвалом работает как бульдозер с неповоротным отвалом. В зависимости от вида выполняемой работы на раму бульдозера как с поворотным, так и с неповоротным отвалом навешивают рыхлители, кусторезы, канавокопатели, корчеватели и другое сменное рабочее оборудование.

Различают бульдозеры с размещением рабочего оборудования на передней и задней части машины.

По роду привода механизма подъема бульдозеры разделяются на гидравлические и канатные. Бульдозеры выполняют следующие операции:

- разрабатывают выемки и полувыемки на косогорах, а также выемки с перемещением грунта в насыпь у нулевых отметок в горной местности;
- выравнивают рельеф в горной местности для прокладки дорог;
- разравнивают грунт и строительные материалы;
- засыпают рвы и каналы;
- планируют строительные и аэродромные площадки;
- расчищают площадки и трассы от снега, кустарника, леса и др.;
- устраивают террасы на склонах гор;
- работают толкачом со скреперами;
- некоторые конструкции бульдозеров могут выполнять работы в воде на глубине до 1 м.

В процессе работы бульдозер копает, перемещает материал и распределяет материал. Чтобы отделить грунт от массива, режущая часть отвала заглубляется в грунт и одновременно бульдозер перемещается вперед. Отделяемый от массива грунт накапливается впереди ножа, образуя призму волочения. Резание осуществляется до тех пор, пока призма волочения не достигнет верхней кромки отвала. Затем отвал на ходу углубляется, и бульдозер перемещается, передвигая призму волочения к месту разгрузки. В процессе перемещения часть грунта высыпается за пределы отвала. Эти потери не одиноковы для связных и несвязных грунтов.

Бульдозеры применяют для снятия плодородного поверхностного слоя грунта при подготовке строительных площадок; для перемещения грунта в зону действия одноковшового экскаватора при погрузке его в транспортное средство или отвал; для разработки неглубоких каналов с транспортированием грунта в отвалы; зачистки пологих откосов; при сооружении насыпей из резервов; на планировочных работах при зачистке оснований под фундаменты зданий и сооружений и планировке площадей и

трасс; при устройстве и содержании в исправности подъездных дорог; при устройстве въездов на насыпи и выездов из выемок; для разработки грунта на косогорах; при обратной засыпке траншей и пазух фундаментов; при разравнивании грунта в отвалах; при штабелировании и перемещении сыпучих материалов; при подготовительных работах для валки отдельных деревьев, срезки кустарника, корчевки пней, удаления камней, расчистки поверхностей от мусора, снега; на вскрышных работах, а также в качестве толкачей скреперов [5, 7, 17, 19]. Эффективность работы бульдозера в значительной мере зависит от проходимости базового трактора и его тягово-сцепных свойств.

По номинальной силе тяги и мощности двигателей различают бульдозеры малогабаритные с силой тяги до 25 кН и мощностью до 45 кВт, легкие – 25 с) 135 кН и 45÷120 кВт, средние – 135÷200 кН и 120÷150 кВт, тяжелые – 200÷300 кН и 150÷225 кВт и сверхтяжелые – более 300 кН и 225 кВт.

Бульдозерные отвалы, как вспомогательное рабочее оборудование, навешивают на пневмоколесные экскаваторы и другие машины для очистных и планировочных работ в составе рабочих процессов этих машин.

Бульдозер (рис. 5.4, *а*) состоит из базового пневмоколесного или гусеничного трактора 8 и навесного рабочего оборудования в виде отвала 5 с цилиндрической рабочей поверхностью и ножами 4 в его нижней части, соединенного с базовым трактором шарнирами 1 через два толкающих бруса 2 или универсальную раму 3 (рис. 5.4, *в*), и гидравлической системы управления отвалом.

Бульдозерные отвалы, как вспомогательное рабочее оборудование, навешивают на пневмоколесные экскаваторы и другие машины для очистных и планировочных работ в составе рабочих процессов этих машин.

Отвал на толкающих брусках (рис. 5.4, *а* и *б*) имеет боковые стенки и установлен режущей кромкой ножей перпендикулярно продольной оси машины. Наклон отвала в вертикальной плоскости регулируют раскосами, либо путем изменения их длины, либо положения места их крепления к отвалу или толкающим брускам. Управляют отвалом при его переводе из

транспортного положения в рабочее и наоборот одним (малогабаритные бульдозеры) или двумя гидроцилиндрами 7, питаемыми рабочей жидкостью от гидравлической системы базового трактора. Бульдозеры с таким отвалом, называемым *неповоротным*, используют в основном на послойной разработке грунтов. У некоторых моделей бульдозеров предусмотрена регулировка наклона отвала в вертикальной плоскости (перекос) (рис. 5.4, з) гидроцилиндром, изменением длины одного раскоса или места его крепления.

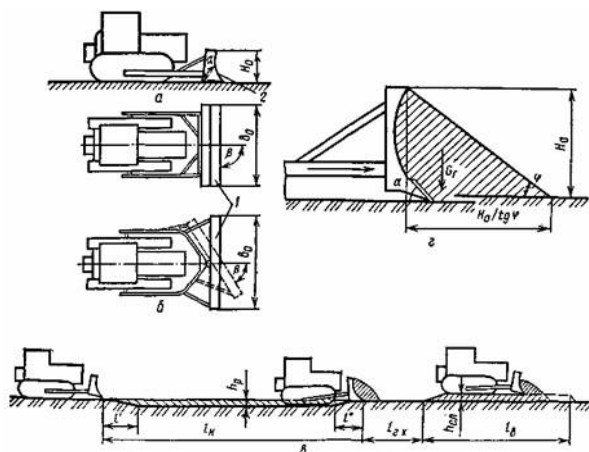


Рис. 5.5. Схемы работы бульдозеров:

а – с неповоротным отвалом; б – с поворотным отвалом (универсальный); в – схема набора, перемещение и отсыпки грунта; з – схема к определению объема грунта перед отвалом бульдозера

Рабочий цикл бульдозера с неповоротным в плане отвалом состоит из операций копания грунта (его отделения от массива и накопления перед отвалом – образования *призмы волочения*), его транспортирования волоком перед отвалом к месту укладки, разгрузки отвала и возвращения машины на исходную позицию следующего рабочего цикла [17, 19].

При копании бульдозер перемещается на рабочей скорости, обычно соответствующей первой передаче, с целью получить возможно большее тяговое усилие. Для сокращения

продолжительности копания желательно предельно сокращать путь копания, для чего грунт следует разрабатывать с возможно большей толщиной стружки, которая в слабых грунтах обычно ограничена ходом поршня гидроцилиндра заглубления отвала, а в прочных грунтах – буксованием движителя. Желательно иметь постоянную толщину стружки на всем пути копания, что обычно реализуется только при разработке слабых грунтов. С повышением прочности грунта тяговая способность бульдозера может быть исчерпана в середине пути копания или быть недостаточной еще в начале копания. С учетом того, что по мере накопления грунта перед отвалом растут сопротивления формированию призмы волочения и ее передвижению волоком по ненарушенному грунту, грунт разрабатывают клиновым или гребенчатым способами (см. рис. 5.6, б и в).

При разработке весьма плотных грунтов, например, уплотненных транспортом или другими способами, внедрение ножа отвала в грунт оказывается практически невозможным. В этих случаях применяют отвалы с выступающим средним ножом или грунт предварительно разрыхляют. Весьма эффективно для таких условий применять навешенный в задней части базового трактора рыхлитель, или специальные сменные отвалы. Отвал 13 (см. рис. 55, д) оборудован одним передним и двумя задними зубьями. При движении машины задним ходом задние зубья прорезают в грунте прорезы, а при последующем движении передним ходом грунт дополнительно разрыхляют передним зубом и захватывают отвалом. Для разрушения асфальтовых покрытий при ремонте дорог применяют отвалы 14, оборудованные киркой в передней части. Мерзлые грунты разрабатывают отвалами 15 с гребенчатыми ножами или с установленными на ножах зубьями.

По завершению операции копания отвал устанавливают ножами на уровень земли и в таком положении бульдозер перемещают передним ходом на возможно большей скорости к месту отсыпки грунта. Во время транспортировки грунта часть его теряется по пути, ссыпаясь по сторонам отвала. Доля потерь зависит от вида грунта (наибольшие потери у несвязных, например, песчаных грунтов) и от дальности транспортировки.

Эти потери не сказываются на производительности бульдозера, разрабатывающего выемку, поскольку производительность в этом случае определяют по объему вынутого из выемки грунта. В случае же сооружения насыпи производительность определяют по доставленному в насыпь грунту. Влияние потерь грунта при его транспортировке на производительность бульдозера в этом случае ощутимо. Так, при транспортировке грунтов I–III категорий (кроме сухого песка) на расстояние 40 м сменная производительность бульдозера примерно в 2,2 выше, чем при транспортировке тех же грунтов на расстояние 100 м.

Эффективным средством снижения потерь грунта является сокращение дальности транспортировки. На большие расстояния грунт перемещают с устройством промежуточных валиков, траншейным способом или с применением нескольких бульдозеров. При транспортировке грунта с устройством промежуточных валиков сначала грунт перемещают на 40÷50 м, накапливая его в первом валике, из которого его перемещают во второй валик на такое же расстояние и т. д. — к месту укладки.

При транспортировке грунта траншейным способом на всех рабочих циклах бульдозер перемещают по одной и той же трассе. Ссыпавшийся по бокам отвала грунт образует валики, которые уменьшают потери грунта при последующих проходах бульдозера. Лучший эффект достигается при незначительном заглублении отвала в грунт вдоль трассы транспортирования и образовании таким образом неглубокой траншеи.

Производительность можно повысить правильным выбором трассы транспортировки грунта, отдавая предпочтение движению под уклон. Влияние уклона на объем перемещаемого перед отвалом грунта иллюстрируется схемой на рис. 5.6, из которой следует, что при движении по пересеченной трассе переход от уклона 3 к горизонтальному участку 2 или последнего к подъему при одном и том же естественном откосе 4 связан с неизбежными потерями грунта. При перемещении под уклон 10÷12° можно повысить выработку бульдозера по сравнению с движением по горизонтальной трассе на 30÷40 %, и, наоборот, при движении на подъем 10° производительность бульдозера снижается почти вдвое [16].

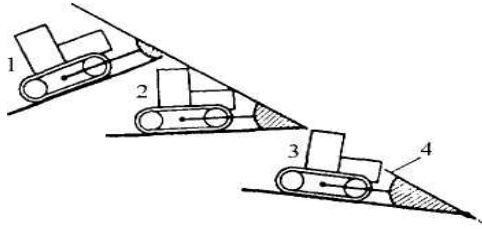


Рис. 5.6. Влияние рельефа местности на объем грунта перед отвалом бульдозера при его транспортировке

Отсыпают грунт совместно с планировкой поверхности или без нее. В первом случае отвал несколько поднимают над землей, и при движении бульдозера на малой скорости вперед грунт высыпается в зазор ниже режущей кромки отвала, а в дальнейшем, после выхода машины на отсыпанную возвышенность – вперед, наращивая последнюю. Частично отсыпанный грунт уплотняется перемещаемыми по нему движителями. Освобождение отвала от грунта без его планировки заключается в отходе от него бульдозера задним ходом. Так, в частности, засыпают траншеи и пазухи фундаментов.

Возвращают бульдозер на исходную позицию следующего рабочего цикла на максимально возможной скорости задним (при небольших расстояниях передвижения) или передним ходом с разворотами.

Техническую производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$) бульдозеров на послойной разработке грунтов определяют в зависимости от вида земляного сооружения. При разработке выемок она равна приведенному к плотному состоянию объему грунта, вынутого из выемки за 1 ч непрерывной работы:

$$П_{ТВ} = \frac{3600 \cdot V_{np}}{t_u k_p}, \quad (5.3)$$

где V_{np} – объем призмы волочения в конце копания в разрыхленном состоянии, м^3 ; t_u – продолжительность цикла, с; k_p – коэффициент разрыхления грунта.

Объем призмы волочения является функцией ширины B (м) и высоты H (м) отвала:

$$V_{\text{пр}} = B H^2 k_{\text{пр}}, \quad (5.4)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от крутизны откоса в призме волочения и от отношения H/B . При $H/B=0,15 \div 0,45$ он изменяется в пределах от 0,65 до 0,6 для связных (глины, суглинки) и от 0,45 до 0,35 для несвязных (пески, супеси) грунтов.

Продолжительность рабочего цикла (с) при движении бульдозера передним ходом с разворотами на концах участка передвижения:

$$t_{\text{ц}} = 3,6 [l_{\text{к}}/v_{\text{р}} + l_{\text{т}}/v_{\text{т}} + (l_{\text{к}} + l_{\text{т}})/v_{\text{пх}}] + t_{\text{п}} + t_{\text{у}}, \quad (5.5)$$

а при возвратном движении задним ходом –

$$t_{\text{ц}} = 3,6 [l_{\text{к}}/v_{\text{р}} + l_{\text{т}}/v_{\text{т}} + (l_{\text{к}} + l_{\text{т}})/v_{\text{зх}}] + t_{\text{у}}, \quad (5.6)$$

где $l_{\text{к}}$ и $l_{\text{т}}$ – длины участков копания и транспортирования (несовмещенного с копанием), м; $v_{\text{р}}$, $v_{\text{т}}$, $v_{\text{пх}}$, $v_{\text{зх}}$ – скорости рабочего, транспортного, возвратного вперед и возвратного назад ходов, км/ч; $t_{\text{п}}$ и $t_{\text{у}}$ – время, затрачиваемое на повороты и управление машиной в течение рабочего цикла, с.

Все скорости определяют расчетом из условий полного использования тягово-сцепных свойств базового трактора и с учетом буксования, особенно в режиме копания, уменьшая рабочие скорости на 20÷30 % против расчетных. Так же, расчетом определяют продолжительность поворота бульдозера, а затраты времени на управление машиной принимают равными 7÷8 с.

Если копание и транспортировка грунта полностью совмещены, как, например, при засыпке грунтом траншей, то последняя зависимость преобразуется к виду:

$$t_{\text{ц}} = 3,6 l_{\text{к}} (1/v_{\text{р}} + 1/v_{\text{зх}}) + t_{\text{у}}. \quad (5.7)$$

При возведении насыпей техническую производительность вычисляют по объему отсыпанного грунта, приведенному к плотному состоянию, с учетом потерь при транспортировке через края отвала в боковые валики, которые составляют 3÷6 % от текущего объема призмы волочения:

$$\Pi_{\text{тн}} = \Pi_{\text{тв}} k_{\text{п}}, \quad (5.8)$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент потерь грунта.

Отвал 5 бульдозера с поворотным в плане отвалом (см. рис. 5.5, в) не имеет боковых стенок. Он соединен с рамой 3 универсальным шарниром 12 в ее центральной части, позволяющим отвалу поворачиваться в плане в каждую сторону на угол $30^{\circ} \div 36^{\circ}$ гидроцилиндрами 11 с последующим закреплением толкателей 10 на раме 3. Наклон отвала в вертикальной плоскости, а также его перекос осуществляется рассмотренными выше способами для неповоротного отвала. Для одновременной планировки откосов и их подошвы отвал дополнительно оборудуют наклонной наставкой 16 (рис. 5.5, д) с жестким или шарнирным соединением с основным отвалом. В последнем случае наклон наставки регулируют специально установленным гидроцилиндром. Наставка 17 соответствующего профиля предназначена для очистки и планировки канав. Для перемещения грунта от стен зданий применяют отвальную приставку 18, двигаясь при этом задним ходом. Эффективность работы бульдозера на расчистке поверхностей от кустарника и мелких деревьев существенно повышается за счет установки в средней части отвала кусторезного ножа 19.

Поворотные отвалы, применяемые как вспомогательное рабочее оборудование на машинах иного назначения, обычно устанавливают с постоянным углом захвата (углом наклона режущей кромки к направлению движения машины), жестко закрепляя на подъемной раме.

Бульдозеры с поворотным отвалом, выполняющие планировочные работы, а также очистку поверхностей от строительного мусора, снега и т. п., работают в непрерывном режиме. Отделенный от массива грунт (или другие материалы) перемещается по отвалу вверх и в сторону его наклона в плане по винтовым траекториям. При этом призма волочения, увлекаемая потоками грунта, непрерывно перемещается в сторону наклона отвала за его край и укладывается в виде валика параллельно с направлением движения машины. Такое взаимодействие рабочего органа с грунтом, которое приводит к сдвигу грунта вдоль режущей кромки, называют *косым резанием*. При косом резании возникают дополнительные сопротивления перемещению грунта вдоль отвала.

Техническую производительность бульдозера на планировочных работах ($\text{м}^2/\text{ч}$) определяют по формуле:

$$P_T = 3600 L [Bn - b(n - 1)]/t_y, \quad (5.9)$$

где L – длина планируемого участка, м; B – ширина захвата, м; n – число полос планировки; b – ширина полосы перекрытия между смежными полосами планировки; t_y – суммарная продолжительность планировки участка, с.

При движении для последующих проходов с разворотами машины и при холостом заднем ходе (челночная схема):

$$t_y = [3,6 L / v_p + t_z] n + t_n (n - 1)z, \quad (5.10)$$

где z – число повторных проходов по одному следу.

Из сравнения этих выражений следует, что работа по челночной схеме производительней работы с разворотами машины при условии $L < v_{zx} t_n / 3,6$.

Бульдозеры также используют на грузоподъемных работах, для чего их отвалы оборудуют грузовыми вилами 20 (см. рис. 5.3, д) или траверсами с подъемными крюками 21.

Особенности рабочих процессов ЗТМ затрудняют полную автоматизацию их управления без участия машиниста. В настоящее время автоматизированы те операции и рабочие движения этих машин, которые в наибольшей мере определяют производительность труда и эффективность их использования. В системах автоматического управления (САУ) ЗТМ обычно используют дискретные электронные системы на основе полупроводниковых элементов, обеспечивающих надежность системы за счет применения бесконтактных элементов, сравнительно большой срок службы, малые габариты, небольшое потребление энергии, возможность использования простых источников питания. САУ внедрены лишь на части отечественных ЗТМ выпусков последних лет. Значительная часть ЗТМ не имеет такого управления.

САУ ЗТМ решаются задачи стабилизации углового положения ковша или отвала в продольном (относительно продольной оси машины) и в поперечном направлениях, а также высотного положения режущей кромки рабочего органа.

Кроме того, решается задача автоматической защиты двигателя от перегрузок (рис. 5.7).

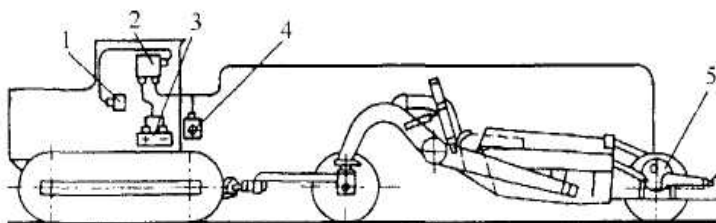


Рис. 5.7. Схема размещения приборов системы "Стабилоплан-10" на скрепере

САУ "Стабилоплан-10" (см. рис. 5.7) состоит из преобразователя углового положения 5, пульта управления 2, аккумуляторной батареи 3, блока управления 1 и гидрораспределителя 4 с электрогидравлическим управлением. При отклонении ковша от заданного положения относительно горизонта маятник преобразователя подает сигнал. Первая задача – стабилизация углового положения рабочего органа в продольном направлении – решается с использованием маятниковых датчиков – преобразователей углового положения, устанавливаемых на продольно расположенных элементах рабочего органа на блок управления, который после обработки последнего выдает команду электромагнитам гидрораспределителя гидравлической системы скрепера, управляющего гидроцилиндрами подъема и опускания ковша. В случае его опускания вследствие неровной поверхности передвижения гидрораспределитель направляет рабочую жидкость в штоковые полости гидроцилиндров (на подъем ковша), а при его подъеме – в их поршневые полости (на опускание ковша).

Система стабилизации отвала бульдозера, являющаяся частью САУ "Комбиплан-10Л" (рис. 5.8), работает в описанном выше режиме. Так же работает САУ поперечной стабилизации углового положения отвала с преобразователем 6.

Автоматизация бульдозеров включает: локальные системы, обеспечивающие стабилизацию углового положения

толкающей рамы для повышения планирующих свойств; управление подъемом отвала для предупреждения перегрузки двигателя; управление скоростью для реализации располагаемой мощности; стабилизацию углового положения отвала в поперечной плоскости (для бульдозеров планировщиков); групповое управление машинами по лазерной направляющей.

К разработанным системам автоматизации, для бульдозеров с гидравлическим управлением рабочим органом относятся "Автоплан-10", "Копир-Автоплан-10", "Комбиллан-10 ЛП".

Наиболее совершенной системой автоматизации бульдозеров является система "Комбиллан-10 ЛП" (см. рис. 5.8). Она позволяет стабилизировать положение отвала в поперечной плоскости и защищать двигатель от перегрузок.

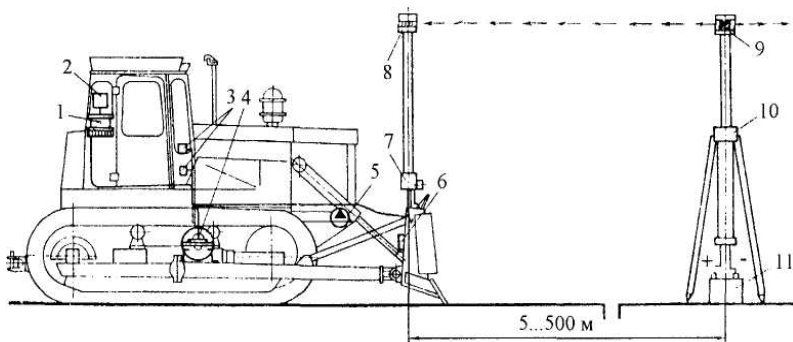


Рис. 5.8. Схема размещения приборов САУ отвалом бульдозера

Система стабилизирует угловое положение отвала 1 бульдозера поперечной плоскости. Система имеет датчик 2 (маятникового типа) углового положения отвала, установленный на обратной стороне отвала. Информация, получаемая от датчика 2, преобразуется в управляющие сигналы, которые обрабатываются исполнительным механизмом 3 перекоса отвала. Имеется датчик 5 маятникового типа, установленный на толкающем брус бульдозера. Сигналы от датчика 5 преобразуются в управления сигналы, которые обрабатываются исполнительным механизмом 4 подъем отвала.

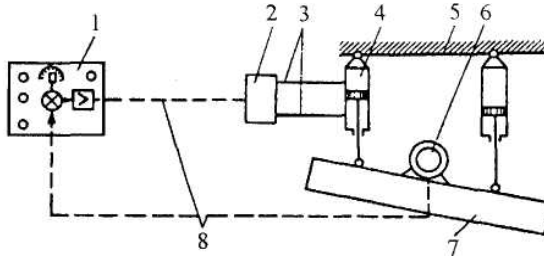


Рис. 5.9. Блок-схема САУ "Профиль-10": 1 – блок управления; 2 – электрогидрозолотник с гидроблоком; 3 – гидролинии; 4 – управляемый гидроцилиндр; 5 – рама автогрейдера; 6 – датчик; 7 – отвал; 8 – электрическая проводка

Так, в САУ отвала бульдозера "Комбиплан-10Л" подсистемы продольной и поперечной стабилизации рабочего органа работают в автономном режиме, на который САУ переключается с пульта управления 1. При работе же в копирном режиме лазерный луч, исходящий из излучателя 9, питаемого от аккумуляторной батареи 11 и установленного на треноге 10 на расстоянии $5 \div 500$ м, воспринимается фотоприемным устройством 8 на штанге 7, закрепленной на отвале бульдозера. При смещении отвала по высоте, а вместе с ним и фотоприемного устройства на электромагниты гидрораспределителей 3 подается соответствующая команда, и гидроцилиндры перемещают отвал до восстановления заданного уровня. На базе одного лазерного излучателя могут работать несколько бульдозеров (до 10), оборудованных системой "Комбиплан-10Л".

Так же работает САУ ковша скрепера "Копир-стабилоплан-10", состоящая из описанной выше системы "Стабилоплан-10" и копирного устройства.

В последнее время некоторые модели автогрейдеров оборудуют САУ "Профиль-30", включающей подсистему "Профиль-20", дооборудованную подсистемой стабилизации заданного курса движения автогрейдера путем воздействия на рулевое колесо (рис. 5.9).

В рассматриваемые САУ включены также подсистемы, обеспечивающие защиту двигателя от перегрузки по снижению частоты вращения коленчатого вала. Для этого служит блок 2

(см. рис. 5.9), который в указанном режиме работы двигателя подает электрический сигнал на углубление ковша, снижая тем самым его нагрузку.

5.3. Автогрейдеры. Грейдер-элеваторы. Машины для подготовительных работ

Автогрейдером (рис. 5.10) называют землеройно-транспортную машину на пневмоколесном ходу с отвальным рабочим органом, предназначенную для послойной разработки грунтов I и II категорий и планировки земляных поверхностей при строительстве и содержании автомобильных и железных дорог, аэродромов, при промышленном, гражданском, гидротехническом и ирригационном строительстве. С помощью автогрейдеров профилируют и планируют поверхности при возведении насыпей высотой до 0,6 м, отрывают и очищают кюветы и каналы треугольного и трапециевидного профилей, сооружают корыта для дорожных оснований, перемешивают и разравнивают грунт, щебень, гравий и вяжущие материалы, а также разрушают дорожные покрытия при ремонте дорог, расчищают от снега дороги и площади.

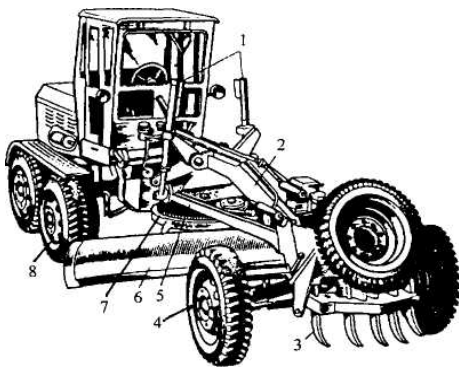


Рис. 5.10. Автогрейдер

При отделке земляного полотна дороги требуется произвести вырезание кюветов и профилирование поверхности и боковых откосов насыпи и выемок для придания этим элементам дорожного полотна необходимых поперечных и

продольных уклонов. Эти работы выполняют автогрейдеры и грейдеры.

Мощные автогрейдеры (рис. 5.11) могут быть использованы и для возведения земляного полотна в нулевых отметках. Автогрейдеры применяют также на планировочных и вспомогательных работах и в других отраслях строительства – при сооружении площадок, профильных выемок и насыпей. В зимнее время автогрейдером очищают дороги от уплотненного снега.

Автогрейдер обладает большой маневренностью и возможностью изменения углов установки отвала в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также может осуществлять вынос отвала в сторону.

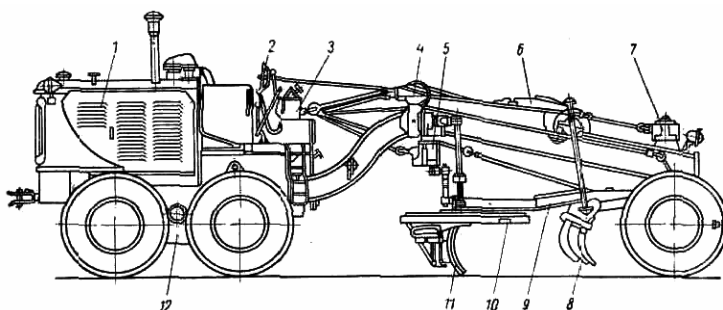


Рис. 5.11. Схема автогрейдера: 1 – автогрейдер; 2 – рычаг управления; 3 – коробка управления; 4 – редуктор подъема отвала; 5 – редуктор выноса отвала; 6 – редуктор подъема кирковщика; 7 – редуктор рулевого механизма; 8 – кирковщик; 9 – тяговая рама; 10 – поворотный круг; 11 – отвал; 12 – балансир

Прицепные грейдеры, обладая теми же функциями, как и автогрейдеры, не имеют собственного двигателя и трансмиссии и работают на прицепе гусеничными тракторами. Прицепные грейдеры значительно уступают автогрейдером в маневренности и производительности.

Кроме основного рабочего органа – отвала и имеющегося на многих автогрейдерах кирковщика, эта машина может работать также с различными видами сменного навесного рабочего оборудования: грейдер-элеваторного, снегоочистительного и

другого, будучи дешевле специализированных машин. В силу этих причин выпуск прицепных грейдеров продолжается главным образом с целью сезонного использования тракторов, но этот тип машин не является перспективным и не развивается.

Автогрейдеры можно классифицировать по следующим основным признакам:

а) по весу машины: легкие весом до 9 т, средние весом 10–12 т, тяжелые весом 13–15 т и особо тяжелые весом 17–23 т;

б) по устройству ходового оборудования: двухосные – с одной или двумя ведущими осями и трехосные – с двумя или тремя ведущими осями;

в) по системе управления рабочими органами: с механическим (редукторным) или гидравлическим управлением.

Легкие автогрейдеры используют для содержания и мелкого ремонта дорог и для постройки грунтовых дорог в нулевых отметках.

Средние автогрейдеры используют для возведения земляного полотна при небольших отметках насыпи и выемки в грунтах оптимальной влажности и для среднего ремонта дорог.

Автогрейдеры тяжелые и особо тяжелые целесообразно использовать при наличии больших объемов работ и в тяжелых грунтовых условиях.

Обычно у автогрейдеров управляемыми (поворотными) являются колеса передней оси; некоторые типы автогрейдеров имеют управляемыми колеса передней и задней оси, что обеспечивает им возможность поворота со значительно меньшим радиусом и позволяет осуществлять поступательное движение, при котором колеса задней оси не движутся по окончательно отделанной поверхности дороги. Такую схему управления поворотом имеет автогрейдер Д-426.

Для удобства обозначения количества ведущих осей и осей, имеющих управляемые колеса, в технической литературе часто приводятся условные обозначения:

$L \times B \times V$,

где L – число осей с управляемыми колесами;

B – число ведущих осей;

V – общее число осей машины.

Пользуясь таким способом обозначения, для двухосного автогрейдера с двумя ведущими осями и всеми управляемыми колесами колесная схема будет обозначаться 2х2х2.

Машины трехосные с двумя ведущими и одной управляемой осью (1х2х3) обладают, по сравнению с другими автогрейдерами, лучшей планирующей способностью, достаточно хорошими тяговыми качествами и способностью сохранять устойчивость заданного прямолинейного движения при наличии боковой нагрузки, например, когда отвал работает, будучи вынесенным в сторону. Такую схему ходового оборудования имеет подавляющее большинство мирового парка автогрейдеров.

Автогрейдеры со всеми ведущими колесами значительно дороже и сложнее в эксплуатации, поэтому их применяют лишь в тех случаях, когда от машины требуются высокие тяговые качества в трудных грунтовых условиях.

Поперечная устойчивость автогрейдеров при боковых нагрузках достигается за счет наклона ведомых колес при помощи специального механизма.

Основным рабочим органом автогрейдера является отвал с ножом; отвал имеет постоянный радиус кривизны. Практикой установлены следующие пределы изменения углов установки отвала автогрейдера: угол резания 30–80° с интервалами перестановки в 3–5°; угол захвата от 0 до 180°. Применение полноповоротного механизма установки отвала в плане дает возможность работать при любом угле захвата.

Рабочее оборудование автогрейдера состоит из отвала, укрепленного на тяговой раме, и кирковщика. Все механизмы управления рабочим оборудованием приводятся карданными валами от коробки управления, установленной на колонке независимого отбора мощности. Другая модель среднего автогрейдера типа Д-426 с двигателем мощностью 110 л. с. и гидравлическим управлением. Все четыре колеса этого автогрейдера являются ведущими и управляемыми.

Система управления колесами позволяет, например, повернуть передние и задние колеса в противоположные стороны; при этом машина будет перемещаться по дуге круга; если же передние и

задние колеса повернуть в одну сторону, то машина будет двигаться поступательно под некоторым углом к своей продольной оси.

Тяжелый автогрейдер типа Д-395 с механическим управлением отличается наличием трех ведущих осей. Колеса передней оси являются ведущими и управляемыми. Благодаря использованию всех колес в качестве ведущих реализуется тяговое усилие, максимально возможное при данном весе; это обеспечивает высокую производительность и хорошую проходимость машины в трудных условиях. Мощность двигателя составляет 150 л. с., в дальнейшем мощность предполагается увеличить до 225 л. с. путем замены двигателя. Задние мосты автогрейдера подвешены к основной раме на опорных балансирах и реактивных штангах. Передний мост подвешен к передней головке рамы посредством шкворня, на котором может качаться в поперечной плоскости.

Балансирная подвеска задних мостов и шкворневая подвеска переднего моста позволяют колесам приспосабливаться к неровностям пути при движении автогрейдера. Привод к задним мостам осуществляется карданными валами. В системе передач имеется мультипликатор с ускоряющей I и замедляющей передачами. Система передач дает возможность автогрейдеру менять скорость движения от 3,5 до 28,5 при восьми скоростях движения вперед и двух скоростях движения назад. В трансмиссии ходовой части имеется ходоуменьшитель, позволяющий получить еще четыре пониженные скорости движения вперед и одну назад. Привод передней ведущей оси включается при работе автогрейдера в тяжелых условиях.

Рабочее оборудование автогрейдера состоит из отвала и кирковщика; последний может заменяться бульдозерным отвалом. Отвал присоединяется к кронштейнам поворотного круга, который смонтирован на тяговой раме, присоединенной шаровым шкворнем к основной раме в передней ее части.

Тяговая рама вместе с поворотным кругом и отвалом может подниматься и опускаться при помощи двух зубчато-реечных редукторов и выноситься вправо или влево при помощи червячно-реечного механизма. Отвал вместе с поворотным кругом может поворачиваться в плане в любую сторону на 360°. Привод к редукторам управления отвалом и кирковщиком осуществляется от коробки управления с помощью карданных

валов. Кулачковые муфты коробки управления переключаются пневматическими сервоцилиндрами, которые управляются рычагами воздухораспределителя, установленного перед водителем. Питание сжатым воздухом сервомеханизмов автогрейдера осуществляется от компрессора, приводимого от шестерни первичного вала коробки перемены передач. Сжатый воздух используется также для управления дисковыми тормозами колес задних мостов.

Автогрейдер имеет закрытую, хорошо вентилируемую и отапливаемую кабину. За последние годы в развитии конструкции автогрейдеров наметились следующие тенденции: повышение мощности двигателей без существенного увеличения веса автогрейдеров; внедрение гидромеханических трансмиссий для ходовой части машины; применение двигателей, приспособленных для работы при значительных кренах, а также в условиях низких и высоких температур и при высокой запыленности воздуха; повышение транспортной скорости автогрейдеров; автоматизация управления с целью обеспечения автоматического профилирования по заданному профилю; значительное улучшение условий работы водителя; применение шин низкого давления с централизованным регулированием давления воздуха, подаваемого от компрессора двигателя. Из различных колесных схем наибольшее распространение получила схема 1 х 2 х 3, т. е. трехосная машина с двумя задними ведущими осями и с передней осью, имеющей управляемые колеса.

Прицепные грейдеры выпускаются двух типов: к тракторам С-100 и ДТ-54 (Т-75). Они имеют ручное управление установкой отвала и поворотного круга. Для управления прицепным грейдером, кроме тракториста, необходим второй человек – грейдерист, находящийся на грейдере, тогда как автогрейдером управляет один человек.

Перспективным типажем предусматриваются следующие основные параметры автогрейдера.

В зависимости от массы машины и мощности силовой установки автогрейдеры разделяют на легкие (массой до 9 т и мощностью до 50 кВт), средние (до 13 т, до 75 кВт), тяжелые (до 19 т, до 150 кВт) и особо тяжелые (более 19 т, более 150 кВт).

По конструктивному исполнению ходовых устройств они бывают двухосными и трехосными. Особенности конструкции ходового устройства отражаются колесной формулой типа $AxVxC$, где A , V и C – число осей соответственно управляемых, ведущих и общее.

Например, наиболее распространенный в строительстве трехосный автогрейдер (рис. 5.11) с двумя ведущими задними осями и передней осью с управляемыми колесами имеет колесную формулу $1x2x3$. По управлению рабочим органом различают автогрейдеры с механической (обычно легкие автогрейдеры) и гидромеханической системами привода.

Рабочий орган-отвал 6 расположен в средней части машины между передними 4 и задними 8 колесами на поворотном круге 7, установленном на тяговой раме 5. Последняя соединена в передней части универсальным шарниром с несущей (хребтовой) балкой 2, жестко соединенной с рамой ведущих (задних) колес и опирающейся шарнирно на ось передних колес. Тяговая рама двумя гидроцилиндрами 1 может быть установлена задней частью на любой высоте, а также перекошена в вертикальной плоскости. С помощью специального гидроцилиндра она может быть вынесена в любую сторону, в том числе за пределы колеи машины. Эти кинематические возможности позволяют ориентировать отвал произвольно в плане и в вертикальной плоскости, включая вертикальные перекосы, выносить его в любую сторону от продольной оси движения автогрейдера. Кроме того, разовой установкой отвал можно выдвинуть в сторону относительно тяговой рамы, а также изменить его угол резания. При необходимости отвал дооборудуют специальными приставками, например, для одновременной планировки подошвы и откоса насыпи, бровки и откоса выемки, профилирования придорожных канав и т. п. Для предварительной обработки плотных грунтов автогрейдер оснащают кирковщиком 3, бульдозерным отвалом или другим вспомогательным оборудованием, устанавливаемым в передней части машины и управляемым гидроцилиндрами.

Для придания автогрейдеру поперечной устойчивости, в частности, при работе на косогорах, управляемые колеса

способны наклоняться в вертикальной плоскости. Задние колеса устанавливают попарно с каждой стороны на балансирных балках, что в сочетании с шарнирным опиранием хребтовой рамы на переднюю ось обеспечивает опирание на поверхность передвижения всеми колесами машины вне зависимости от микронеровностей рельефа.

Положительной особенностью автогрейдеров как машин для планировочных работ является расположение отвала в средней части машины между передними и задними колесами. При наезде колесами на неровности в полосе движения высотные отклонения режущей кромки отвала будут незначительными, существенно меньшими, чем при консольном расположении бульдозерного отвала. Это качество позволяет планировать земляные поверхности с меньшим числом повторных проходов, чем при работе бульдозера.

Рабочий процесс автогрейдера включает копание грунта, его перемещение и укладку с разравниванием в земляное сооружение. При разработке грунта отвал устанавливают режущей кромкой как параллельно его поверхности, так и наклонно под углом $10\div 15^\circ$ с заглублением отвала или только его части по ширине. Угол резания составляет от 35° до 45° соответственно при разработке тяжелых и легких грунтов. При врезании отвала в грунт одним концом угол между режущей кромкой отвала и продольной осью машины (угол захвата) принимают равным $35\div 50^\circ$, при отделочных планировочных работах – $45\div 90^\circ$, при копании с отводом грунта в сторону по отвалу – 60° .

В зависимости от размеров обрабатываемого участка, рельефа местности, наличия искусственных сооружений земляные работы с использованием автогрейдеров выполняют движением по круговым и челночным технологическим схемам. Так, в дорожном строительстве при длине обрабатываемого участка (захватки) $400\div 1500$ м автогрейдеры движутся по круговым технологическим схемам, а при меньших длинах – челночным способом – движением в одном направлении вперед, в обратном – задним ходом. При этом в случае очень коротких захваток (около 150 м) грунт разрабатывают только движением вперед, после чего возвращают машину на исходную позицию

следующей проходки вхолостую задним ходом на повышенной скорости. При больших длинах захваток грунт разрабатывают как передним, так и задним ходом с разворотом отвала на 180° в плане на концах захватки.

Техническую производительность автогрейдера определяют, как и для бульдозера по формуле (5.3)

5.4. Грейдер-элеваторы

Грейдер-элеваторы (рис. 5.12) являются землеройно-транспортными машинами непрерывного действия. Они предназначены для послойной разработки грунта и возведения из него насыпей высотой до 1,5 м, а также гидромелиоративных сооружений.

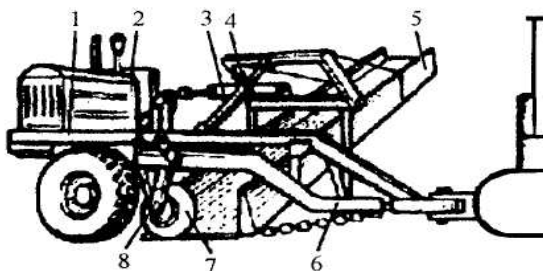


Рис. 5.12. Грейдер-элеватор

Для отделения грунта от массива служит рабочий орган в виде дискового (сферического) ножа, полукруглого ножа или системы плоских ножей, а для его перемещения к месту отсыпки – один или два ленточных конвейера с неизменной ориентацией относительно рамы машины или с возможностью поворота в зависимости от направления отсыпки (разгрузки) грунта. Грейдер-элеваторы могут быть выполнены как навесные, прицепные или полуприцепные технологические орудия к гусеничным или колесным тягачам и тракторам, а также как самоходные ЗТМ.

На рис. 5.12 представлен полуприцепной грейдер-элеватор с плужным диском 7, подвешенным на кронштейне 8 к плужной балке 6, положение которой относительно основной рамы 1 (при

заглублении и углублении плуга) регулируют гидроцилиндром 3. При движении машины вперед диск вырезает из грунта стружку эллиптического поперечного сечения.

Поднявшись по внутренней поверхности плуга, грунт отваливается на ленточный конвейер 5, которым отсыпается в насыпь, отвал или в транспортное средство. Угол наклона конвейера регулируют гидроцилиндром 4. Для перемещения грунта на большие расстояния конвейер наращивают вставками. Гидроцилиндры питаются рабочей жидкостью либо от насосов, установленных на тягаче, либо от собственной насосно-силовой установки 2.

Рабочий процесс грейдер-элеватора состоит из последовательных проходов машины по обрабатываемому участку с разворотами на его концах. Известны также грейдер-элеваторы, работающие по челночной схеме с перестановкой рабочего органа на концах участка (захватки).

Эксплуатационную производительность грейдер-элеваторов ($\text{м}^3/\text{ч}$) при копании грунта прямым и обратным ходами с его разгрузкой в отвал рассчитывают по формуле:

$$P_{\text{э}} = \frac{SLk_n k_b}{L/v_{\text{ср}} + t_{\text{п}}/3600}, \quad (5.11)$$

где S – площадь поперечного сечения вырезаемой стружки, м^2 ; L – длина захватки, м; k_n – коэффициент, учитывающий потери грунта при его перегрузке с рабочего органа на конвейер, в среднем $k_n = 0,85 \div 0,95$; k_b – коэффициент использования рабочего времени; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость передвижения машины, м/с; $t_{\text{п}}$ – продолжительность разворота в конце захватки, с.

5.5. Машины для подготовительных работ

Подготовительные работы включают очистку будущей строительной площадки от леса и кустарника, вывозку древесины, корчевку и уборку пней, удаление валунов, устройство временных дорог и мостов через естественные и искусственные препятствия, понижение уровня грунтовых вод и т. п. Для выполнения этих работ применяют машины как общестроительные, так и специальные, используемые в

лесотехнической промышленности, ирригационном строительстве и др. Для отдельных видов работ успешно используют сменные рабочие органы, навешиваемые на одноковшовые экскаваторы и бульдозеры. По сходству с устройством бульдозеров для этих работ изготавливают кусторезы и корчеватели-собиратели.

Кусторезы (рис. 5.13, а) применяют для расчистки подлежащих застройке площадей от кустарников и мелких деревьев, а **корчеватели-собиратели** (рис. 5.13, б) – для корчевки пней диаметром до 500 мм, расчистки участков от крупных камней, сваленных деревьев и кустарников, а также для рыхления плотных грунтов перед их разработкой землеройными и землеройно-транспортными машинами. Эти машины изготавливают как навесное рабочее оборудование на гусеничных тракторах.

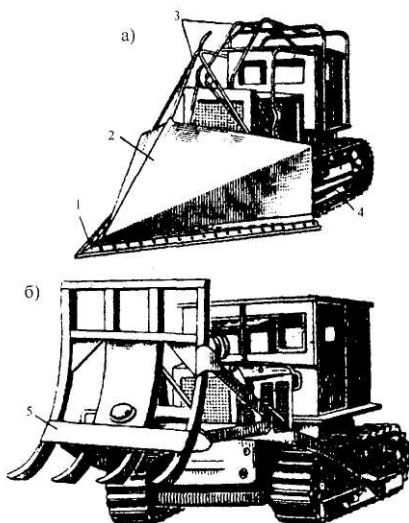


Рис. 5.13. Машины для подготовительных работ: а – кусторез; б – корчеватель-собиратель

Рабочее оборудование кустореза (рис. 5.13, а) представляет собой закрепленный на универсальной раме 4 отвал 2 клинообразной формы с гладкими или пилообразными ножами 1 в его нижней части. Поднимают и опускают отвал гидравлическими цилиндрами. Рабочий процесс машины обеспечивается ее движением вперед на рабочей скорости с

отвалом, скользящим по поверхности или принудительно заглубленным в грунт, срезающим кусты и мелкие деревья и отодвигающим их боковыми поверхностями в стороны. Для защиты от возможного падения деревьев силовая установка и кабина защищены каркасом 3. В зависимости от местных условий выполняют повторный проход по прежнему следу или переходят на смежную полосу. На коротких захватках обычно работают по челночной схеме: рабочее движение - передним ходом, возврат на исходную позицию – задним ходом. На длинных захватках производительнее двигаться в прямом и обратном направлениях в рабочем режиме с разворотами машины на концах захватки.

Рабочее оборудование корчевателя-собирателя (рис. 5.13, б) отличается от рассмотренного отвалом 5 с зубьями в его нижней части. Для работы отвал опускают на грунт и, перемещаясь вперед на рабочей скорости с одновременным заглублением отвала, погружают средние зубья под пень, выдергивая его из земли целиком или частично после нескольких попыток. У некоторых моделей этих машин отвал может поворачиваться относительно рамы в вертикальной плоскости с помощью дополнительных гидроцилиндров, чем облегчается его разгрузка, а при корчевке пней обеспечивается хорошая избирательная способность по направлениям прилагаемых к пню усилий. Сопротивление пней корчеванию находится в прямой зависимости от диаметра пня и составляет от $18 \div 20$ до $180 \div 210$ кН при диаметрах от 100 до 500 мм соответственно. Полное тяговое усилие корчевателя в рабочем режиме складывается из усилий корчевания, сопутствующего ему разрыхления грунта и самопередвижения.

Производительность корчевателей и кусторезов при сплошной расчистке определяют по формуле (5.13) производительности бульдозеров на планировочных работах, а при избирательной расчистке ее определяют по площади отдельно расчищенных участков с учетом потерь времени на переезды машины от одного участка к другому.

5.6. Машины и оборудование для разработки мерзлых грунтов

При продолжительности зимнего периода от трех до семи месяцев грунт промерзает на глубину от 1 до 2,5 м. Многолетнемерзлые грунты и грунты сезонного промерзания покрывают более 90 % территории России. Годовой объем разрабатываемых в нашей стране мерзлых грунтов составляет около 1 млрд. м³. Для непосредственной разработки мерзлых грунтов применяют некоторые модели траншейных экскаваторов, одноковшовых канатных экскаваторов с ковшом активного действия, зубья которых работают независимо от движения ковша в ударном, виброударном или в вибрационном режимах, гидравлические экскаваторы, оснащенные однозубыми рыхлителями или гидромолотами, землеройно-фрезерные машины для послойной разработки мерзлых грунтов при строительстве дорог.

Мерзлые грунты, обладающие повышенной прочностью и абразивностью по сравнению с грунтами немерзлого состояния, разрабатывают преимущественно в два этапа: предварительным разрыхлением и последующим перемещением или погрузкой в транспортные средства экскаваторами, бульдозерами и погрузчиками – общего назначения или модифицированными для работы в условиях низких температур. Наибольшее распространение в строительстве получили способы механического разрыхления и взрывом. Ниже рассматриваются машины и оборудование для механического разрыхления.

Для разрушения мерзлых грунтов с промерзанием на глубину до 0,5÷0,7 м применяют специальные снаряды в виде **шар-молотов** (рис. 5.14, *а*) массой 500 кг и более и **клин-молотов** (рис. 5.14, *б* и *в*) массой 2000÷3000 кг, подвешиваемые на канатах грузовых лебедок гусеничных кранов и экскаваторов с крановым оборудованием. Снаряд поднимают лебедкой на высоту 6÷8 м и сбрасывают на разрабатываемый грунт. Известны также специальные машины на базе гусеничного трактора, в которых вертикально перемещающийся снаряд движется в трубе.

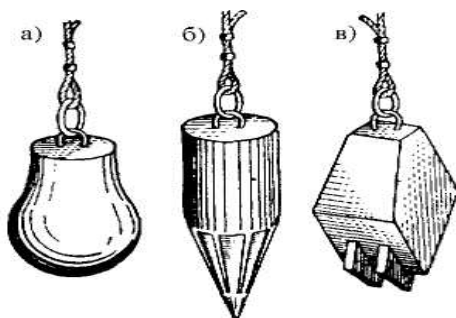


Рис. 5.14. Сменное оборудование для разработки мерзлых грунтов:

а – шар-молот;
 б – клин-молот;
 в – клин-молот с зубьями

Рыхлители (рис. 5.15) применяют для послойной разработки прочных грунтов, включая мерзлые, многолетнемерзлые и скальные, с последующей уборкой землеройно-транспортными или погрузочными машинами. Их применяют при отрывке котлованов и широких траншей, устройстве выемок в гидротехническом строительстве, корыт под дорожное полотно, разработке мерзлых россыпей полезных ископаемых, на вскрышных работах.

Различают рыхлители основные и вспомогательные. Основные рыхлители изготовляют как навесное оборудование к гусеничным или пневмоколесным тракторам, а вспомогательные агрегируют с основным оборудованием ЗТМ и погрузчиков для рыхления плотных грунтов и слежавшихся материалов. Вспомогательные рыхлители позволяют повысить производительность и расширить область применения основного рабочего оборудования.

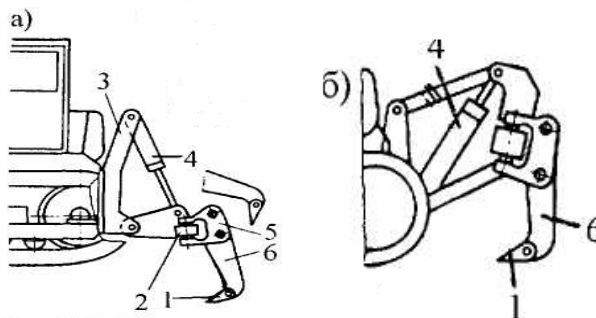


Рис. 5.15. Схемы навески рыхлительного рабочего оборудования

Сменным рыхлительным оборудованием оснащают универсальные строительные гидравлические экскаваторы. В строительстве применяют также бульдозерно-рыхлительные агрегаты, у которых в равной мере используют как бульдозерное, так и рыхлительное рабочее оборудование.

Эффективность работы основных рыхлителей зависит от тягово-цепных свойств базовых тракторов. Наиболее выгодно их использовать для разработки многолетнемерзлых грунтов, трещиноватых и выветренных слоистых или низкопрочных горных пород (сланцев, ракушечников, бурых углей, апатитов, фосфоритов, песчаников, легких и средних известняков и т. п.).

Как основные, так и вспомогательные рыхлители оборудуют одним или несколькими стойками-зубьями 6 (рис. 5.15), устанавливаемыми на поперечной балке 2 жестко или с возможностью незначительных угловых перемещений в плане через поворотные кронштейны 5, закрепленные на балке шарнирно. При трех зубьях их располагают на одной балке в ряд, при пяти зубьях – в два ряда по шахматной схеме. Зубья с поперечной балкой навешивают на базовый трактор через стойку 3 по схеме трехточечной (рис. 5.15, а) или четырехточечной (параллелограммной) (рис. 5.15, б) подвесок, регулируя глубину погружения зубьев одним или двумя гидроцилиндрами 4. Параллелограммная подвеска обеспечивает постоянство угла резания независимо от глубины погружения зубьев, что, по сравнению с трехточечной подвеской, позволяет снизить рабочие сопротивления на зубьях, повысить производительность рыхлителя и увеличить срок службы сменных наконечников зубьев 1.

Разрыхляют грунт заглубленными в него зубьями тяговым усилием перемещающегося на рабочей скорости трактора. Форма поперечного сечения образованной после проходки рыхлителя выемки показана на рис. 5.16.

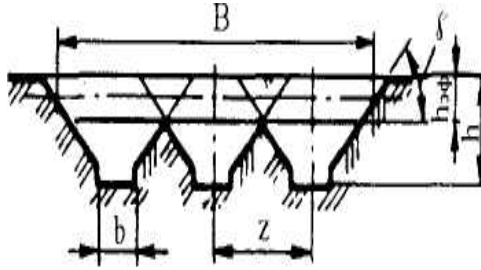


Рис. 5.16. Поперечное сечение выемки проходки рыхлителя

Для работы в плотных грунтах выгоднее использовать однозубые рыхлители с жестким креплением зуба на поперечной балке, которые по сравнению с многозубыми рыхлителями реализуют большие усилия на одном зубе. С этой же целью в тех же условиях многозубые рыхлители переоборудывают в однозубые или снабжают их буферными устройствами, устанавливаемыми в верхней части среднего зуба, для работы с трактором-толкачом, также оборудованным буферным устройством в его передней части. При разработке слоистых горных пород и вялых пластично-мерзлых грунтов, а также рыхления корки мерзлого грунта на зубья устанавливают уширители, благодаря чему увеличивается ширина рыхления за каждый проход и повышается производительность машины. Отдельные модели рыхлителей оборудуют дистанционными системами регулирования угла резания и изменения вылета зуба из кабины машиниста для выбора оптимального в конкретных условиях режима работы рыхлителя.

Техническую производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$) рыхлителя определяют по формуле:

$$П_T = 3600 B h_{\text{эф}} L / t_{\text{ц}}, \quad (5.12)$$

где B – средняя ширина полосы рыхления за один проход при многозубом рыхлителе или между двумя смежными проходами при однозубом рабочем органе, м; $h_{\text{эф}}$ – эффективная глубина рыхления (до вершин гребешков ненарушенного массива), м; L – длина пути рыхления, м; $t_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла, с. Обычно $h_{\text{эф}} = (0,6 \div 0,8)h$ (h – средняя глубина погружения зубьев в грунт).

Продолжительность рабочего цикла (c) определяют по формулам: при разработке грунта продольными проходками с разворотами на концах захваток –

$$t_{ц} = 3,6 L/v_p + t_{п} + t_y;$$

при работе по челночной схеме –

$$t_{ц} = 3,6 L(1/v_p + 1/v_{зх}) + t_y;$$

где v_p и $v_{зх}$ – скорости соответственно рабочая и при движении задним ходом, км/ч (для тракторов с гидромеханическими передачами $v_p=1,7\div3,2$ км/ч; $v_{зх}=7,5\div14,5$ км/ч; с механическими передачами – $v_p=2,35\div3,2$ км/ч; $v_{зх}=7,6\div8,5$ км/ч); $t_{п}$ и t_y – продолжительности поворота для движения в обратном направлении и управления, с (продолжительность поворота определяют расчетом в зависимости от ситуационных условий, а продолжительность управления $t_y=7\div8$ с).

При разработке высокопрочных грунтов перекрестным способом (в двух взаимно перпендикулярных направлениях) производительность определяют отдельно для продольных и поперечных проходов, а затем находят ее среднее значение.

Повысить производительность рыхлителя и улучшить его тягово-сцепные свойства для рационального выбора направления рабочего движения под уклон, резервирования части неубранного после предшествующих проходов грунта или породы слоем 5÷7 см, удаления снежного покрова перед разрыхлением мерзлых грунтов для улучшения сцепления движителя, совместной работы с тракторами-толкачами. В последнем случае энергозатраты увеличиваются примерно в два раза, а производительность – в три-четыре раза.

Дисковые щелерезные (дискофрезерные) машины нарезают в мерзлых грунтах щели шириной 80÷120 мм на глубину до 1÷2 м с помощью одного или двух оснащенных резцами дисков (роторов) диаметром до 3 м. Эти машины применяют также для рытья узких траншей прямоугольного профиля под кабели электропередач и связи, трубопроводов малых диаметров, а также вскрытия асфальтовых дорожных покрытий. Дисковым рабочим оборудованием оснащаются траншейные экскаваторы

и гусеничные тракторы, оборудованные ходоуменьшителями и бульдозерными отвалами. Привод рабочего органа может быть механическим и гидравлическим. Скорость резания составляет $2 \div 3$ м/с. Двухбаровая машина на базе гусеничного трактора (рис. 5.17) мощностью 108 л. с. (80 кВт) состоит из рабочего органа в виде горизонтально установленных цепных баров 1, редуктора привода и гидравлического механизма 2 подъема-опускания рабочего органа. Бар состоит из режущей замкнутой цепи, огибающей направляющую раму (стрелу) с приводной и натяжной звездочками. Каждое звено цепи служит резцедержателем. Резцы специальной формы располагаются на цепи веерообразно и при движении прорезают щель шириной 0,2–0,3 м на заданную глубину. Режущая цепь приводится в движение со скоростью 1–1,3 м/с от коробки отбора мощности трактора через редуктор, на конце выходного вала которого укреплен ведущая звездочка цепи. Заглубление бара до заданной отметки, фиксация в рабочем положении, а также подъем в горизонтальное транспортное положение производятся путем поворота его рамы (в вертикальной плоскости) вокруг вала приводной звездочки с помощью гидроцилиндра 4 двустороннего действия.

Трансмиссия хода тягача баровой машины дооборудуется гидромеханическим ходоуменьшителем, обеспечивающим движение при работе со скоростью 20–140 м/ч. Для выполнения различных планировочных работ, уборки разрушенного мерзлого грунта и засыпки траншей спереди трактора навешивается бульдозерный отвал. Гидроцилиндры управления рабочим органом и отвалом бульдозера обслуживаются шестеренным насосом.

Основными преимуществами баровых машин, определяющими их широкое распространение, являются сравнительно высокая производительность (до $40 \text{ м}^3/\text{ч}$), простота конструкции и удобство в эксплуатации. Основные недостатки — большие затраты мощности (до 60 % от всей потребляемой) на преодоление трения в цепях, работающих в абразивной среде, и низкая долговечность рабочего органа.

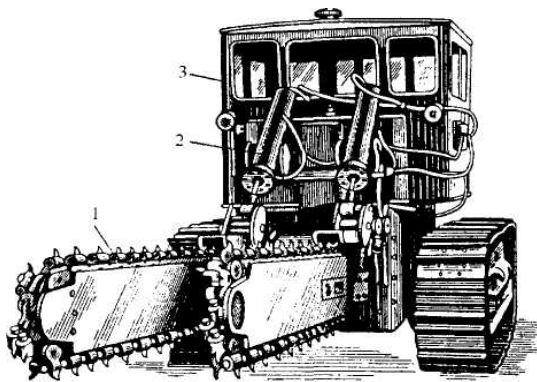


Рис. 5.17. Двухбаровая щеленарезная машина

Основные достоинства дискофрезерных машин по сравнению с баровыми и цепными – пониженная энергоемкость процесса резания за счет малого количества трущихся поверхностей ротора, более высокая производительность и долговечность (в 2÷3 раза) жесткого рабочего органа; основные недостатки – высокая металлоемкость и ограниченная глубина копания, составляющая примерно 0,5 диаметра ротора.

Эксплуатационную производительность щеленарезных машин ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяют по объему разрушенного грунта:

$$Пэ = n H_{щ} B_{щ} v_p K_v, \quad (5.13)$$

где n – число одновременно нарезаемых щелей; $H_{щ}$, $B_{щ}$ – глубина и ширина прорезаемой щели, м; v_p – рабочая скорость движения машины, м/ч; K_v – коэффициент использования машины по времени.

5.7. Бурильные машины

Бурение – это процесс разрушения грунта с образованием в грунтовом массиве цилиндрических полостей и выносом из них продуктов разрушения на поверхность. При диаметре до 75 мм и глубине до 9 м полости называют шпурами, при больших размерах – скважинами. В строительстве бурение производят для инженерно-геологических изысканий, при разработке грунтов

взрывом, при водоснабжении и водопонижении, для установки столбов, дорожных знаков, надолб, устройства буронабивных свай и т. п.

Различают механические и физические способы бурения. В большинстве бурильных машин и оборудования реализованы механические способы с вращательно-поступательным, ударно-вращательным и ударным движениями рабочего инструмента. В качестве рабочих органов для механического бурения применяют лопастные, шнековые и ковшовые буры, буры-расширители, трехшарошечные и ударные долота [16].

Лопастной бур (рис. 5.18, *а*) состоит из трубчатого остова *1* с двумя копающими лопастями *б* в виде двухзаходного винта, забурника *5* и заслонок *2*. Забурник направляет и удерживает бур на оси бурения. Заслонки, шарнирно прикрепленные к лопастям, препятствуют просыпанию грунта при его извлечении из скважины. Бур крепят к нижнему концу граненой штанги. Для работы в мерзлых грунтах лопасти и забурник оснащают резцами, армированными твердосплавными пластинками *4*.

У шнекового бура (рис. 5.18, *б*) остов длиннее, чем у лопастного. К нему приварена спираль *7* из полосовой стали, образующая шнек. В нижней части остова закреплены копающие лопасти *б* и забурник *5*. Лопастной и шнековый буры разгружают после их извлечения из скважины вращением с повышенной скоростью, вследствие чего находящиеся на их лопастях и шнековой спирали продукты бурения рассыпаются в стороны за счет центробежных сил.

Ковшовый бур представляет собой полый цилиндр с откидным дном и ножами в его нижнем торце. Срезаемый ножами грунт заполняет внутреннюю полость бура через окна в его днище. После заполнения его извлекают из скважины и разгружают через открытое днище.

Уширяют полость скважины под пяту буронабивной сваи буром-расширителем (рис. 5.18, *в*), закрепляемым на буровой штанге *1* в ее нижней части. При вращении штанги ножи *9* с рычагами *8* опускаются под действием собственного веса и срезают грунт, который ссыпается в ковш *10*. Разгружают ковш, как описано выше. Качество зачистки забоя скважины влияет на несущую способность буронабивной сваи, в связи с чем

разрыхленный грунт в забое уплотняют специальными трамбовками.

Шарошечное долото (рис. 5.18, *г*) состоит из трех сваренных между собой лап, на концах которых на подшипниках качения установлены шарошки с углом наклона осей к центральной оси долота $50 \div 60^\circ$. Шарошка представляет собой корпус из ковanej стали с запрессованными в его тело твердосплавными зубками. При вращении штанги шарошки вращаются вокруг своих осей и относительно оси долота. Через пустотелую штангу и сверления в корпусе долота и шарошках подают сжатый воздух от компрессорной установки для выноса на поверхность буровой мелочи. Другие виды долот и элементов буровых рабочих органов показаны на рис. 5.18, *б-з*.

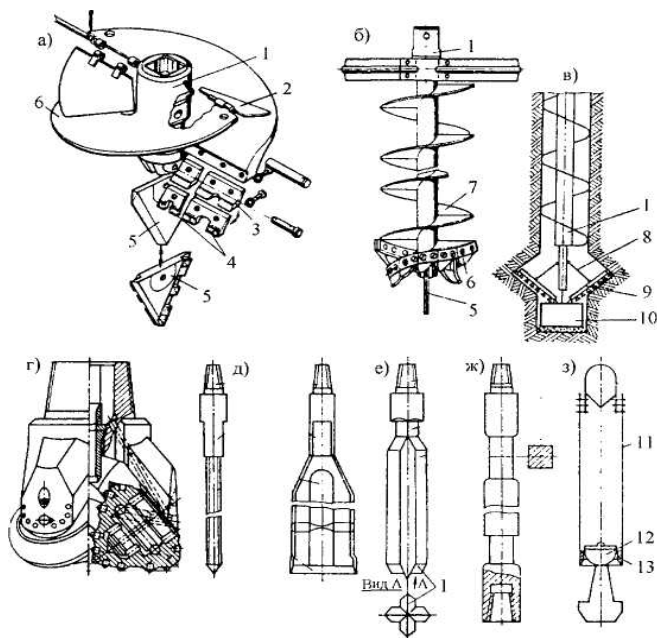


Рис. 5.18. Буровой инструмент: *а* – лопастной бур; *б* – шнековый бур; *в* – шнековый бур-расширитель; *г* – трехшарошечное долото; *д* – зубильное долото; *е* – крестовое долото; *ж* – ударная штанга; *з* – желонка

Продукты бурения удаляют из скважины специальными инструментами, промывкой скважины водой, а также продувкой. В случае промывки или продувки для работы в комплекте с буровой машиной применяют насосную или компрессорную установку, что удорожает стоимость буровых работ. Для промывки скважины требуется большое количество воды, из-за чего этот способ применяют, в основном, при работе вблизи водоемов. При этом во избежание загрязнения рабочей площадки и создания обслуживающему персоналу нормальных рабочих условий, требуется принять меры по отводу от устья скважины водогрунтовой смеси.

При продувке скважины воздухом в рабочей зоне бурильной машины образуется пылевое облако с большим содержанием абразивных частиц, вредно влияющих на организм человека и способствующих быстрому абразивному износу шарниров машины, элементов ее гидропривода и других кинематических пар. Для защиты от вредного воздействия пыли требуется принимать специальные меры, включая индивидуальную защиту, например, респираторы. Очищать скважину от буровой мелочи продувкой допустимо лишь в случаях, когда невозможно использовать другие способы.

К физическим способам бурения относятся термический, ультразвуковой, электрогидравлический, высокочастотный и гидравлический. Из них практическое применение нашел лишь термический способ, реализованный в станках термического бурения. Остальные способы находятся в стадии теоретических и экспериментальных разработок.

Бурильные машины с вращательно-поступательным движением бурового инструмента изготавливают на базе грузовых автомобилей, гусеничных и пневмоколесных тракторов. Кроме того, буровое оборудование монтируют в качестве сменного рабочего оборудования на одноковшовых гидравлических экскаваторах, малогабаритных погрузчиках с бортовым поворотом и других машинах.

Главным параметром бурильной машины является глубина бурения, по которой различают машины легкие, средние и тяжелые с глубиной бурения соответственно до 5, до 20 и свыше 20 м.

Легкие бурильно-крановые машины применяют для бурения скважин в однородных грунтах. Рабочее оборудование такой машины (рис. 5.19) на базе грузового автомобиля, состоящее из полой бурильной штанги 3 с гидроцилиндром внутри нее, вращателя 5, приводимого через механическую трансмиссию от двигателя базового автомобиля или от индивидуального гидромотора, граненой штанги 6, рабочего инструмента – лопастного 7 или шнекового бура, располагают сзади базового автомобиля 1, закрепляя его шарнирно на раме последнего.

Переводят рабочее оборудование из транспортного положения в рабочее и наоборот гидравлическим цилиндром 2.

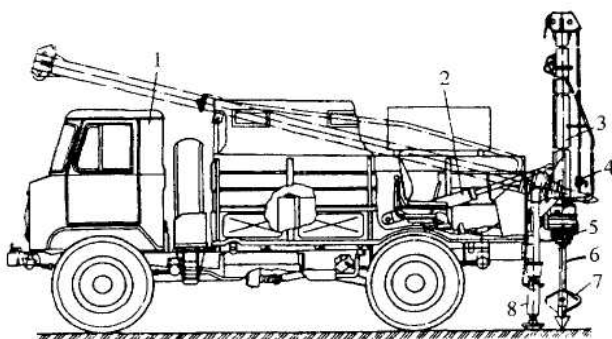


Рис. 5.19. Бурильно-крановая машина

Для бурения скважины машину устанавливают на выносные опоры 8, гидравлическим цилиндром, находящимся внутри полой штанги, опускают бур на поверхность земли и включением вращателя с одновременным напором гидроцилиндра производят бурение. По мере заглубления бура в грунт и накопления на его лопастях (в случае лопастного бура) или на спирали шнека (при шнековом буре) разработанного грунта бур извлекают из скважины и на повышенной скорости вращения освобождают его от продуктов разрушения, после чего бур снова опускают в скважину и повторяют процесс до достижения требуемой глубины.

Для установки столбов в пробуренные скважины легкие бурильные машины оборудуют, кроме того, грузовой лебедкой с канатом, огибающим блоки на голове штанги и оканчивающимся крюковой подвеской 4.

В качестве базы средних бурильных машин используют большегрузные грузовые автомобили и гидравлические экскаваторы 4- и 5-ой размерных групп. Скважины бурят шнековыми и ковшовыми бурами, последними – преимущественно при работе в песчаных грунтах, укрепляя стенки скважины обсадными трубами.

Принципиальная схема и общий вид рабочего оборудования машин для бурения шпуров на базе колесного трактора приведен на рис. 5.20.

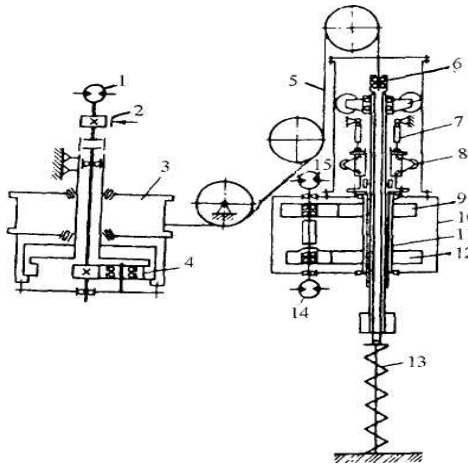


Рис. 5.20. Кинематическая схема бурильно-кранового оборудования бурильной машины среднего типа на базе автомобиля

Обычно вращатель, заключенный в корпус 10 (см. рис. 5.20) приводится в движение двумя гидромоторами 14 и 15, один из которых 14 через зубчатую пару 1 буровой штанги 11 на рабочей скорости, а второй 15 через зубчатую пару 9 – вращение на повышенной скорости для освобождения от продуктов бурения вынутого из скважины шнекового бура 13.

Для обеспечения значительного по длине хода буровой штанги прежняя схема напорного механизма оказывается непригодной. Для этого используют два гидроцилиндра 7, установленные симметрично по обе стороны буровой штанги, и работающие перехватом через четырехкулачковый патрон 8, который охватывает штангу и зажимает ее своими кулачками. В таком положении соединенные штоками с патроном гидроцилиндры опускают буровую штангу до исчерпания полного хода их поршней, после чего кулачки разжимаются, гидроцилиндры поднимают патрон вверх, где его устанавливают на штанге на новом месте. Гидроцилиндры используют только для напорного движения, а для подъема штанги служит лебедка с барабаном 3, приводимым гидромотором 1 через встроенный в барабан планетарный редуктор 4. Второй конец навиваемого на барабан каната 5 закреплен на вертлюге 6 в верхней части буровой штанги. В поднятом положении штанга удерживается тормозом 2.

Особенность работы с ковшовым буром заключается в его отличной от прежней разгрузке, из-за чего для этой операции бур необходимо отводить в сторону от скважины. Для этого буровое оборудование устанавливают на поворотной части машины, в частности, на гидравлическом экскаваторе.

Рабочим органом **машин для бурения шпуров** при разработке прочных грунтов взрывом служит одна или две буровые штанги 1 (рис. 5.21) с резцами или шарошечными долотами на конце. Соответственно различают одно- и двухшпиндельные буровые машины. Верхними гранеными концами штанги входят в полые цапфы ведомых колес редукторов-вращателей 4 и заклиниваются в них, образуя неподвижное соединение.

Нижние концы штанг проходят через направляющие отверстия в нижней части рамы 6. Редукторы вместе с приводными гидродвигателями 5 располагают на подвижной каретке 3, перемещаемой гидроцилиндром 2 в направляющих рамы 6. Последняя гидроцилиндрами может быть установлена в вертикальное или наклонное рабочее положение или уложена вдоль базового трактора в транспортное положение.

В случае пневмоколесного базового трактора для обеспечения устойчивой работы машины ее устанавливают на

выносные опоры 7. Для бурения шпуров машину устанавливают в рабочее положение, опускают подвижную каретку до касания бурами земли и одновременным вращением штанг и их осевым перемещением разрабатывают скважины.

Продукты бурения выносятся на поверхность сжатым воздухом от передвижного компрессора или спиральной лентой по длине буровых штанг. При необходимости штангу периодически поднимают над поверхностью земли и вращением освобождают от буровой мелочи.

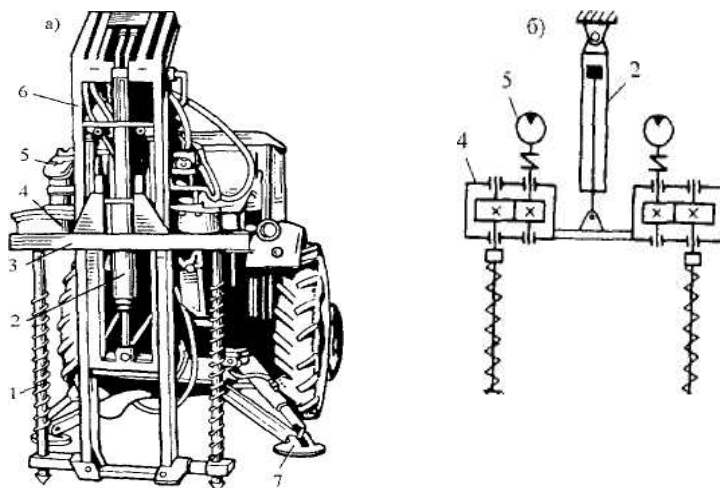


Рис. 5.21. Двухшпindelная машина для бурения шпуров на базе пневматического трактора (а) и кинематическая схема привода рабочего органа (б)

Горизонтальные скважины под шоссейными и железными дорогами для прокладки в них трубопроводов, подземных кабельных линий связи и электроснабжения и др. бурят из открытого перед насыпью прямка-траншеи (рис. 5.22).

Его размеры должны быть достаточными для размещения в нем бурового оборудования и вспомогательных средств. Для контроля за работой на последнем этапе бурения, а также для подготовки к протаскиванию в пробуренную скважину, например, рабочего трубопровода, кабелей такой же прямки отрывают с противоположной стороны насыпи. По мере

разработки скважины и удаления из нее грунта в нее осаживают обсадную трубу, которая после окончания буровых работ остается в скважине.

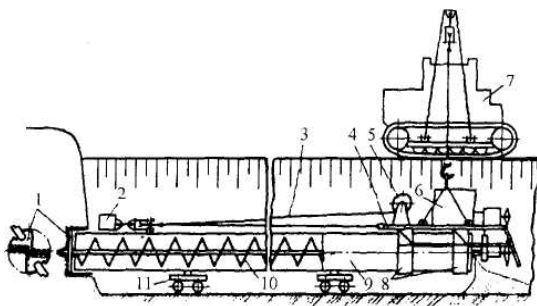


Рис. 5.22. Установка горизонтального бурения

Обсадную трубу 9 укладывают в прямке на катучие опоры 11, а внутри нее располагают винтовой конвейер 10 из отдельных секций с резцовой головкой 1 и забурником на переднем (перед обсадной трубой) конце. Тылный конец вала винтового конвейера приводят во вращение силовой установкой 6, состоящей из ДВС и механических передач и укрепленной в задней части обсадной трубы хомутами 8. Напорное усилие обсадной трубе сообщают приводимой от того же двигателя лебедкой 5, смонтированной на одной с ним раме 4, через полиспаст 3, неподвижные блоки которого укреплены на якоре 2 в виде поперечной балки, вкопанной в землю у основания в насыпи.

Скважину разрабатывают вращением резцовой головки с одновременной подачей ее вместе с обсадной трубой на забой. Разрушенный резцовой головкой грунт поступает на винтовой конвейер, которым он перемещается в обсадной трубе к ее открытому торцу и высыпается на дно траншеи, а из нее экскаватором — в отвал или в транспортное средство. Реактивный момент сил сопротивления грунта разработке воспринимается обсадной трубой, которая по мере продвижения в скважину все больше защемляется грунтом. От возможного проворачивания относительно собственной оси, особенно в

начальной стадии проходки, труба страхуется трубоукладчиком 7, удерживающим ее крюком за раму силовой установки.

Обычно длина скважины составляет примерно 60 м. Длины же секций обсадной трубы и винтового конвейера значительно (на порядок) короче длины скважины. Поэтому по мере продвижения трубы и конвейера в скважину их наращивают новыми секциями: трубу – сваркой, конвейер – соединительными муфтами.

В установках для бурения скважин больших поперечных сечений (диаметром 1720 мм) напорное усилие создают гидравлическими цилиндрами, упирающимися в щит, установленный у тыльной стенки приямка.

Скорости проходки скважины составляют от 15 (для скважин диаметром до 630 мм) до 1,4 м/ч (при диаметре скважины 1720 мм), а усилия подачи – от 480 до 7200 кН соответственно. Описанное оборудование уникально по своему назначению. Оно позволяет проводить буровые работы без остановки движения по шоссе и железным дорогам. Приведенные выше данные по скоростям проходки характеризуют только технические возможности этого оборудования, но не могут служить основанием для определения эксплуатационной продолжительности буровых работ на переходе, в составе которых значительную часть занимают подготовительно-заключительные работы, а также простой различного характера.

При **ударно-вращательном бурении** грунт разрушается в скважине последовательными ударами инструмента с одновременным его вращением. Станки, реализующие этот способ, оборудованные погружными пневмударниками, применяют для бурения скважин диаметром до 155 мм при глубине до 80 м в грунтах большой крепости. На принципе ударно-вращательного бурения работают также перфораторы с независимым вращением бура.

Твердые горные породы разрабатывают **термическим (огневым) бурением**. Вследствие высокотемпературного нагрева газовым потоком в верхних слоях породы возникают повышенные термические напряжения, приводящие к ее расслоению. Продукты разрушения породы выносятся из скважины газовым потоком.

Рабочим органом станка термического бурения служит реактивная горелка (рис. 5.23), в которую подают керосин и кислород (или сжатый воздух). Образующиеся в камере сгорания *1* газы, температура которых достигает 3200° , с большой скоростью выбрасываются через сопла *2* в скважину. Камера сгорания охлаждается проточной водой. Горелку закрепляют на буровой штанге, которой сообщают вращательное и поступательное движение. Станок оборудован отсасывающей установкой для удаления продуктов разрушения и пара, образующегося при бурении. Управляют станком с установленного на нем пульта или дистанционно.

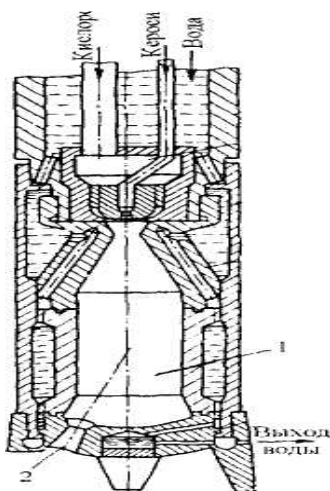


Рис. 5.23. Реактивная горелка

Рабочая скорость подачи буровой штанги при диаметре скважины до 250 мм составляет 1,9 м/ч, средний расход керосина – 125 кг/ч, кислорода – $240 \text{ м}^3/\text{ч}$, воды – $3,6 \text{ м}^3/\text{ч}$.

5.8. Машины и оборудование для уплотнения грунтов

Для обеспечения устойчивости зданий и сооружений в течение всего срока их эксплуатации грунты, на которых их возводят, должны обладать достаточной плотностью, регламентированной СНиП и другими нормативными документами. Просадочные и насыпные грунты перед

возведением на них зданий и сооружений подлежат искусственному уплотнению.

Уплотнение грунта есть процесс его необратимого деформирования путем внешнего силового воздействия или за счет гравитационных сил, в результате которого определенная масса грунта уменьшается в объеме за счет удаления из его пор свободной воды и воздуха, а его плотность повышается. При нагружении грунта вода и воздух частично выходят на поверхность, а частично перемещаются в грунте из более напряженных зон в менее напряженные, вследствие чего требуемая плотность достигается многократным повторным нагружением. При этом наибольшая степень уплотнения достигается на первых циклах нагружения, уменьшаясь к концу этого процесса. Разрыхление грунта перед его уплотнением способствует выходу воздуха и свободной воды на поверхность без миграции этих компонентов в грунтовой массе, благодаря чему требуемая плотность грунта может быть достигнута меньшим числом повторных нагружений. По этой причине большинство способов уплотнения грунта являются двухэтапными, включающими разрыхление уплотняемого слоя и собственно его уплотнение.

Степень уплотнения грунтов оценивают *коэффициентом уплотнения*, равным отношению фактической (или требуемой) плотности к ее максимальному стандартному значению, определяемому на специальном приборе. В зависимости от ответственности земляного сооружения коэффициент уплотнения назначают из пределов от 0,9 до 1.

Все процессы уплотнения грунтов в строительстве полностью механизированы. Их выполняют с помощью машин и оборудования, классифицируемых по характеру силового воздействия на грунт и по способу перемещения рабочего органа относительно уплотняемой зоны грунта. По первому признаку различают машины статического (укаткой), динамического (трамбованием и вибротрамбованием) и комбинированного действия. При трамбовании грунт уплотняется падающей массой. Виброуплотнение заключается в сообщении грунту колебательного движения, которое приводит к относительному смещению его частиц и более полной их

упаковке. При виброуплотнении рабочий орган вибратора, находящийся на поверхности грунта, колеблется вместе с грунтом. Если возмущения превзойдут определенный предел, то виброуплотнение преобразуется в вибротрамбование с отрывом рабочего органа вибратора от грунта и частыми ударами по нему. Разновидностью виброуплотнения является его комбинация с укаткой, для чего перекатываемому по грунту катку сообщают направленные вертикальные колебания.

По способу перемещения рабочего органа относительно уплотняемой зоны грунта различают самоходные машины, прицепные и полуприцепные орудия, перемещаемые за тягачом (все виды катков, кроме самоходных), машины с навесными рабочими органами (трамбовочные и вибротрамбовочные) и оборудование, перемещаемое за счет импульсных реактивных сил в результате наклонного силового воздействия на грунт (виброплиты).

Поскольку после каждой очередной проходки грунтоуплотняющей машины предел прочности грунта на его поверхности возрастает, то для повышения эффективности процесса целесообразно контактные давления увеличивать от прохода к проходу (для катков) или от удара к удару (для трамбующих машин). Для этого рекомендуется двухстадийное уплотнение: предварительное – легкой машиной, окончательное – тяжелой. При этом общее число проходов или ударов по одному месту может быть уменьшено в среднем на 25 % с сокращением стоимости работ до 30 %, в т. ч. и за счет частичной замены тяжелых машин легкими.

Для уплотнения грунтов укаткой применяют прицепные, полуприцепные и самоходные катки с гладкими, кулачковыми и решетчатыми вальцами, а также пневмокатки. Их используют также в дорожном, аэродромном и подобных отраслях строительства для уплотнения подстилающего слоя и укатки дорожного покрытия из асфальтобетона и других материалов. Для уплотнения малосвязных грунтов весьма эффективно применять **вибрационные катки** с гладкими, кулачковыми или решетчатыми вальцами, внутри которых вмонтирован вибратор направленных колебаний, приводимый от автономного двигателя, установленного на раме катка. Эффективность уплотнения достигается совместным

действием на грунт гравитационных и вынуждающих сил, генерируемых вибратором, что позволяет получить требуемую плотность грунта при сравнительно меньшей массе катка. Так, при уплотнении песков путем вибрационного воздействия масса катка может быть снижена примерно в 5 раз, при супесях – в 2 раза, а при уплотнении средних и тяжелых суглинков лишь на 10÷30 %. Эффективность вибрационного воздействия снижается с увеличением содержания в грунте глинистых частиц. Поэтому для уплотнения связных и высокосвязных грунтов требуется применять весьма тяжелые катки.

Прицепной каток с металлическими вальцами (рис. 5.24, *а* и *б*) состоит из пустотелого вальца 5 цилиндрической формы и охватывающей его рамы 3 с дышлом 2 и сцепным устройством 1 на его конце. Валец соединен с рамой через подшипники 4 на торцовых шипах. Для увеличения массы катка и, следовательно, повышения давления на укатываемую поверхность валец загружают (балластируют) песком через люк 7. Вальцы бывают гладкими (рис. 5.24, *а*) или с установленными на их рабочей поверхности в шахматном порядке кулачками 9 (рис. 5.24, *б*) (кулачковые катки), которые приваривают непосредственно к обечайке вальца или к полубандажам 8. От налипшего на рабочую поверхность грунта гладкие вальцы очищают скребком 6 (см. рис. 5.24, *а*), закрепленным на раме, а междурядья кулачков – штырями, собранными на общей балке, прикрепленной к раме вместо скребка.

Прицепные катки с металлическими вальцами перемещают по уплотняемой поверхности за тягачом, обычно трактором, с разворотами на концах захваток для возвратного движения или челночным способом, для чего тягач перецепляют на противоположную сторону катка. Для укатки грунтов на обширных площадях используют сцепы из двух-пяти катков и более, объединенных траверсами (рис. 5.24, *в*). Гладкие катки уплотняют грунт слоями 0,15÷0,2 м без разрыхления его поверхности или с незначительным разрыхлением на глубину 1÷3 см (в несвязных грунтах). Их применяют преимущественно для прикатки в один-два прохода поверхностей, уплотненных другими катками. Скорости передвижения катков не влияют на изменение плотности грунтов, но при повышенных скоростях из-за больших сдвигающих усилий на контактной поверхности

формируется менее прочная структура грунта. Рациональные скорости перемещения гладких катков составляют $1,5 \div 2,5$ км/ч на первом и двух последних проходах и $8 \div 10$ км/ч на промежуточных проходах. По сравнению с работой в одностороннем режиме производительность катков при этом увеличивается примерно в 2 раза.

При работе **кулачковых катков** грунт уплотняется внедряемыми в него кулачками, а на первых проходах также поверхностью вальца. По мере уплотнения грунта кулачками на глубине при каждом новом проходе они все меньше погружаются в грунт, вследствие чего валец теряет контакт с уплотняемой поверхностью. Из-за высоких контактных давлений в конце уплотнения кулачки будут несколько погружены в грунт, вследствие чего на его поверхности останется разрыхленный слой, который при необходимости прикатывают гладкими вальцами.

В отличие от работы гладких катков, когда от прохода к проходу уплотненный слой наращивается от поверхности вглубь, кулачки начинают уплотнение на глубине, наращивая его в направлении к поверхности.

Кулачковые катки эффективно применять только для уплотнения рыхлых связных грунтов. При уплотнении же ими несвязных и малосвязных грунтов происходит выброс грунта кулачками вверх и в стороны, вследствие чего практически невозможно достигнуть требуемой плотности.

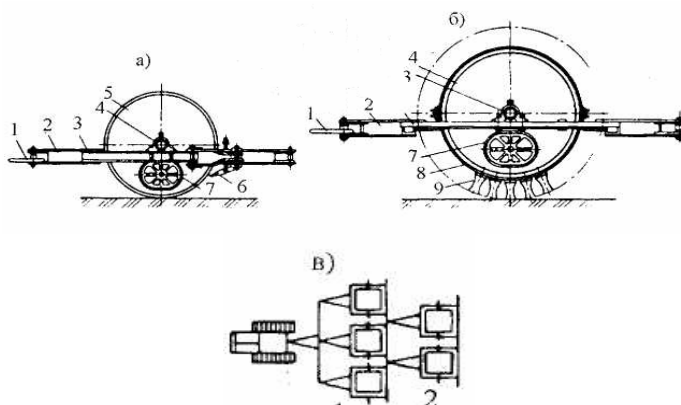


Рис. 5.24. Прицепной каток с металлическими вальцами

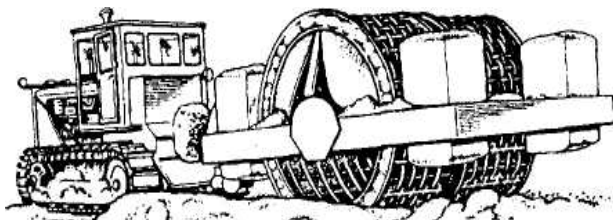


Рис. 5.25. Решетчатый каток

Подобно кулачковым каткам работают **решетчатые катки** (рис. 5.25) с обечайками, изготовленными из прутков в виде решетки с квадратными ячейками. Внедряясь в грунт прутками, решетчатые катки уплотняют его, начиная с глубинных слоев. Их применяют для уплотнения комковатых и переувлажненных связных грунтов, включая разрыхленные мерзлые и скальные крупнообломочные грунты.

Для уплотнения малосвязных грунтов весьма эффективно применять **вибрационные катки** с гладкими, кулачковыми или решетчатыми вальцами, внутри которых вмонтирован вибратор направленных колебаний, приводимый от автономного двигателя, установленного на раме катка. Эффективность уплотнения достигается совместным действием на грунт гравитационных и вынуждающих сил, генерируемых вибратором, что позволяет получить требуемую плотность грунта при сравнительно меньшей массе катка. Так, при уплотнении песков путем вибрационного воздействия масса катка может быть снижена примерно в 5 раз, при супесях – в 2 раза, а при уплотнении средних и тяжелых суглинков лишь на 10÷30 %. Эффективность вибрационного воздействия снижается с увеличением содержания в грунте глинистых частиц. Поэтому для уплотнения связных и высокосвязных грунтов требуется применять весьма тяжелые катки.

Прицепной пневмоколесный каток состоит из рамы с дышлом и сцепным устройством для соединения с тягачом (трактором или автомобилем), четырех-пяти пневматических колес соединенных с рамой одной осью или через балансиры и одного или нескольких (по числу колес) балластных ящиков. В

последнем случае балластные ящики соединены между собой передней и задней поперечными балками, а ось каждого колеса крепится к днищу соответствующего балластного ящика так, что, в зависимости от неровностей укатываемой поверхности, с грунтом контактируют все колеса катка. Пневмоколесные катки применяют для уплотнения как грунтов, так и гравийных и щебеночных оснований, а также черных смесей асфальтобетона. Преимуществом этих катков перед катками с металлическими вальцами является то, что при укатке каменных материалов они не измельчают их. Требуемая степень уплотнения достигается за 5–10 проходов при рабочих скоростях передвижения $11 \div 15$ км/ч. Для уплотнения грунтов более эффективны шины большого диаметра с большей допускаемой нагрузкой на каждую шину. Катки с автомобильными шинами используют, в основном, для уплотнения малосвязных и среднесвязных грунтов, а с авиационными шинами повышенного давления – для уплотнения тяжелых суглинков и глин высокой связности.

Полуприцепные (седельные) катки (рис. 5.26) агрегатируют с колесными тракторами и одноосными тягачами. Рабочее оборудование этих катков полностью унифицировано с прицепными катками соответствующего типоразмера и отличается от последнего опирающейся на седельное устройство тягача хребтовой балкой *1* вместо дышла.

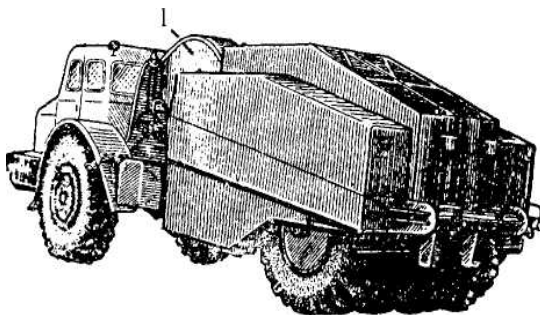


Рис. 5.26. Полуприцепной пневмокоток

Отечественная промышленность производит полуприцепные катки трех типоразмеров: легкие, средние и тяжелые массой

соответственно 15,3; 30,6 и 45,9 т. Они отличаются хорошей маневренностью и транспортабельностью, высоким качеством уплотнения и высокой производительностью.

Самоходные пневмоколесные катки применяют для уплотнения грунтов и покрытий дорог. Их разделяют по массе на легкие ($10 \div 15$ т), средние ($20 \div 30$ т) и тяжелые ($40 \div 50$ т). На этих катках устанавливают четыре задних и три передних колеса, располагая их в плане в шахматном порядке для перекрытия смежных уплотняемых полос. На катках, работающих на укатке черных асфальтобетонных покрытий, устанавливают шины с гладким протектором и пневматические распылители воды для смачивания и охлаждения шин. Самоходные катки с гладкими вальцами применяют преимущественно для укатки покрытий дорог.

Основным направлением в развитии прогрессивных универсальных самоходных катков явилось создание гаммы **комбинированных катков** на базе унифицированных модулей: силовой установки с дизелем и насосной станцией, кабины с органами управления и двух шарнирно-сочлененных рам. Ходовые устройства состоят из ведущего моста с пневмоколесами и уплотняющего катка – с гладкими вальцами, кулачкового или решетчатого. На рис. 5.27 показан комбинированный каток с кулачковым вальцом.



Рис. 5.27. Комбинированный самоходный каток с кулачковым вальцом

Группу грунтоуплотняющих машин и оборудования динамического действия представляют трамбовочные и вибротрамбовочные машины, виброплиты и виброкатки.

Трамбующие рабочие органы в виде чугунных или железобетонных плит круглой или квадратной формы навешивают на экскаваторы или специально приспособленные для этого машины. В первом случае в качестве базовой машины используют одноковшовый экскаватор со стрелой драглайна, к подъемному канату которого подвешивают плиту массой $0,8 \div 1,5$ т с площадью опорной поверхности около 1 м^2 . Вспомогательным канатом с легким оттяжным грузом предупреждают закручивание основного каната. Плиту поднимают на высоту $1,2 \div 2$ м, с которой ее сбрасывают отключением от трансмиссии барабана подъемной лебедки. Три–шестью ударами плиты о грунт достигают его уплотнения на глубину $0,8 \div 1,5$ м. Продолжительность рабочего цикла с учетом поворотных движений экскаватора в плане составляет примерно $12 \div 20$ с, что определяет невысокую производительность этого способа.

Описанный способ уплотнения грунтов отличается своей простотой. Однако, использование экскаваторов для уплотнения грунтов экономически невыгодно вследствие высокой стоимости этих машин, а также из-за повышенного износа подъемного и передающих механизмов в описанном режиме нагружения. По этой причине описанный способ уплотнения грунтов имеет ограниченное применение – в местах, труднодоступных для других грунтоуплотняющих машин.

Для уплотнения грунтов на объектах с широким фронтом работ используют **самоходные трамбовочные машины** на базе гусеничного трактора (рис. 5.28). На машине установлены две перемещающиеся по направляющим чугунные плиты массой $1,3$ т каждая, поочередно поднимающиеся и падающие на уплотняемую поверхность при непрерывном передвижении базового трактора. В зависимости от содержания в грунте глинистых частиц уплотнение на глубину до $1,2$ м достигается за три–шесть ударов плиты по одному месту при скорости передвижения трактора $160 \div 320$ м/ч.

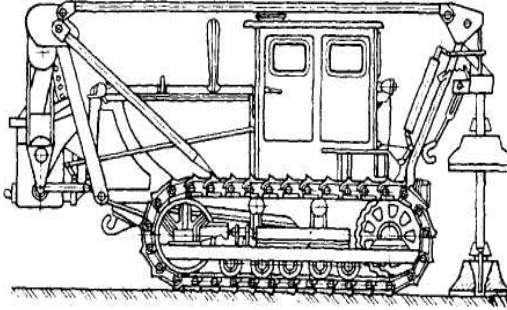


Рис. 5.28. Самоходная трамбовочная машина

Для уплотнения несвязных и слабосвязных грунтов на ограниченных поверхностях применяют **виброплиты**.

Грунт уплотняют плитой-поддоном 1 (рис. 5.29, а и б), которому сообщаются колебания от двухдебалансного вибратора 2, принцип действия которого показан на рис. 5.30. При вращении дебаланса массой m с угловой скоростью и смещении центра масс от оси вращения (эксцентриситете) центробежная сила составит

$$P = m\omega^2 r. \quad (5.14)$$

Равнодействующая $Q = 2P \cos \omega t$ центробежных сил двух противоположно вращающихся дебалансов с одинаковыми другими параметрами будет направлена перпендикулярно оси, соединяющей центры вращения дебалансов. Из этого следует, что вынуждающая сила изменяется во времени гармонически с наибольшими модульными значениями (амплитудой)

$$|Q| = 2P, \text{ при } i = \pi j, \quad (5.15)$$

где j – целое число.

Вибратор обычно устанавливают на поддоне, а приводящий его двигатель 3 (рис. 5.29, б) или на том же поддоне, или на специальном подрамнике 4, опирающемся на поддон через пружины 5 или резиновые амортизаторы. Первую схему называют *одномассной*, а вторую – *двухмассной*. Благодаря мягкой подвеске верхняя часть двухмассной виброплиты не участвует в колебаниях, но воздействует на грунт своей силой тяжести. Этим создаются благоприятные условия для работы двигателя.

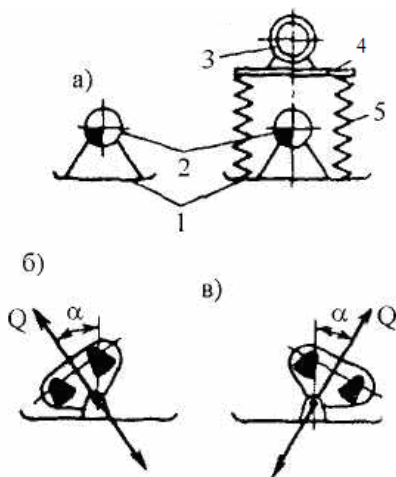


Рис. 5.29. Одномассная (а) и двухмассная (б) виброплиты и схема перемещения виброплиты (в)

При одномассной виброплите вибратор устанавливают на поддоне шарнирно (рис. 5.29, в) с возможностью его отклонения вручную. При наклоне вибратора на угол от вертикали (в случае работы на горизонтальной поверхности) возникает горизонтальная составляющая вынуждающей силы

$$Q_x = Q \sin \alpha. \quad (5.16)$$

Если эта составляющая превзойдет сопротивление сил передвижению, то плита начнет перемещаться в направлении отклонения вибратора от вертикали (когда вектор силы Q будет направлен вверх – при его нижнем направлении увеличиваются сопротивления передвижению).

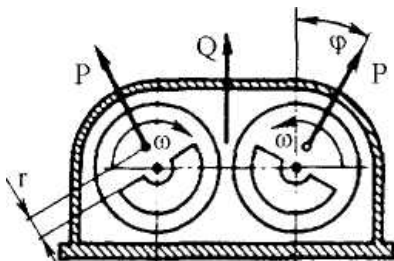


Рис. 5.30. Принцип действия вибратора направленных колебаний

Управляет виброплитой оператор с помощью рычагов, установленных на дышле, которое соединено с виброплитой также через амортизаторы. Направление самопередвижения виброплиты изменяют поворотом дышла. Современные виброплиты производительностью $300 \div 900 \text{ м}^3/\text{ч}$ массой $150 \div 1400 \text{ кг}$ уплотняют грунт на глубину $0,3 \div 1 \text{ м}$.

Ударно-вибрационный способ уплотнения грунтов реализуется, например, в самоходной машине на базе гусеничного трактора с навесным **вибротрамбовочным оборудованием** (рис. 5.31). Рабочее оборудование состоит из двух виброударных рабочих органов, смонтированных на раме 11, способной смещаться в поперечном направлении на $0,5 \div 0,7 \text{ м}$ от следа базового трактора для уплотнения грунтов вне полосы его движения, например, в бровочной части дорожной насыпи.

Вертикальные перемещения трамбующей плиты 10 генерируются вибромолотом 5, приводимым гидромотором-редуктором 3 через двухступенчатую клиноременную передачу 4. Вибромолот устроен подобно вибратору направленных колебаний (рис. 5.30) и отличается от него тем, что его корпус перемещается по вертикальным направляющим 6 с пружинами 7. В процессе этих перемещений, вызванных вынуждающей силой вращающихся дебалансов, вибромолот ударяет бойком 9 в нижней части своего корпуса по наковальне 8, жестко соединенной с трамбующей плитой 10. Таким образом, трамбующая плита воспринимает ударные нагрузки через наковальню, а вибрационные – через пружины 7 и направляющие 6, сочетая в воздействии на грунт эффект трамбования и виброуплотнения.

Рабочее оборудование устанавливают на раме 1, которую через амортизаторы 12 шарнирно крепят на лонжеронах гусеничных тележек базового трактора. Посредством гидроцилиндра 2 рабочее оборудование может быть установлено в рабочее положение или поднято для передвижения машины в транспортном режиме. Ударно-вибрационную машину комплектуют бульдозерным отвалом 14 и планирующей плитой 13 для разравнивания грунта в полосе перемещаемого следом рабочего органа.

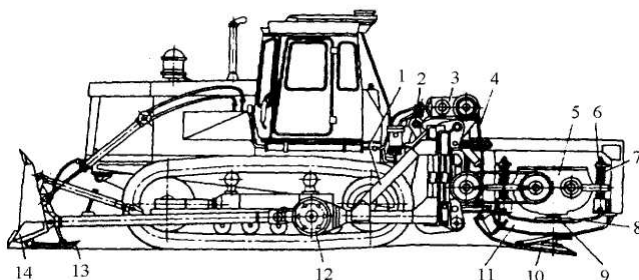


Рис. 5.31. Ударно-вибрационная машина

5.9. Технические средства гидромеханизации

Гидромеханизацией называют способ механизации земляных работ, при котором все или основные технологические процессы выполняются за счет энергии потока воды. Этим способом в гидротехническом строительстве возводят плотины, дамбы и насыпи, разрабатывают котлованы под различные гидротехнические сооружения, каналы, углубляют водоемы и т. п., добывают и транспортируют песчано-гравийные материалы.

В оборудовании, реализующем способ гидромеханизации, используют устройства для разрушения грунтов как струей воды, так и механическим путем с последующим транспортированием продуктов разрушения в потоке воды и укладкой в земляное сооружение, струя формируется и направляется на забой гидромонитором 1 (рис. 5.32).

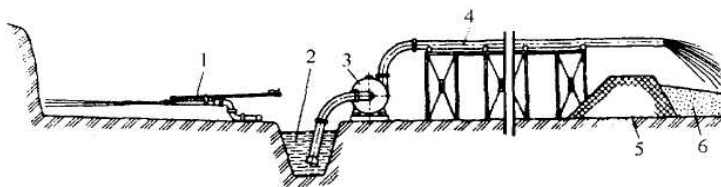


Рис. 5.32. Схема гидромониторной разработки грунтов

Размытый грунт вместе с отработавшей водой (пульпа) стекает в специальное углубление (зумпф) 2, откуда грунтовым насосом (землесосом) 3 нагнетается в трубопровод (пульповод) 4 и перемещается по нему к месту укладки. После дренажа воды оставшийся в зоне, ограниченной обвалованием 5, грунт образует тело земляного сооружения 6 или штабель песка, гравия, песчано-гравийной смеси для последующего использования как строительного материала. При организации гидромониторных работ стремятся максимально использовать рельеф местности, который позволяет иногда транспортировать пульпу к месту укладки самотеком по желобам или канавам.

Плотные подводные грунты разрабатывают механическим способом с применением рыхлителей 1 (рис. 5.33) перемещая их по грунтозаборному трубопроводу и пульповоду с помощью грунтового насоса 4. Для этого раму 2 грунтозаборного устройства с рыхлителем закрепляют на понтоне 3, там же устанавливают грунтовый насос. Агрегат, включающий понтон, грунтовый насос и грунтозаборное устройство, называют *землесосным снарядом* (*земснарядом*). Пульповод располагают на понтонах 7. Малосвязные грунты увлекаются потоком воды по грунтозаборному устройству без их разрыхления.

Гидромеханический способ разработки грунтов отличается от других способов простотой оборудования. Энергоемкость разработки составляет $2 \div 5 \text{ кВтч/м}^3$. Этот способ особенно эффективен при массовых объемах земляных работ. Для его реализации требуется большое количество воды, из-за чего он применим для разработки грунтов вблизи водоемов, с береговых урезом и со дна водоемов.

К недостаткам относится большая, чем при других способах, зависимость от изменчивости грунтов. Так, при переходе от песков к глинам производительность оборудования гидромеханизации существенно снижается.

Для извлечения грунта из-под воды и перекачивания его в смеси с водой к месту укладки применяют плавучие установки, называемые **землесосными снарядами** (см. рис. 5.33).

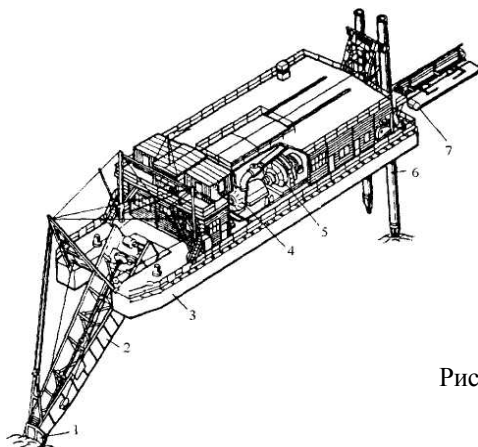


Рис. 5.33. Землесосный снаряд

Грунты с крупнообломочными включениями и валунами, полускальные породы и т. п., для которых гидромониторный размыв малоэффективен, разрабатывают комбинированными способами: разрушение – землеройными машинами, транспортирование к месту укладки – в потоке воды. В составе оборудования гидромеханизации применяют два вида насосов: для подачи чистой воды к гидромониторам, откачки воды из скважин и т. п., и грунтовые для перекачивания пульпы (*землесосы*). Оба вида насосов обычно центробежные. Центробежные насосы для подачи чистой воды бывают одноступенчатыми с двусторонним подводом воды к рабочему колесу (подача до $12500 \text{ м}^3/\text{ч}$, давление до $1,4 \text{ МПа}$) и двухступенчатые (подача до $3600 \text{ м}^3/\text{ч}$, давление до $4,55 \text{ МПа}$).

Грунтовые насосы отличаются от насосов для чистой воды способностью пропускать крупнообломочные включения и абразивные грунтовые частицы. По сравнению с насосами для чистой воды грунтовые насосы обладают более низкой всасывающей способностью, обусловленной большей плотностью пульпы по сравнению с плотностью чистой воды. Их предельная вакууметрическая высота всасывания не превышает $4\div 6,8 \text{ м}$. Грунтовые насосы развивают давление до $0,8 \text{ МПа}$. При необходимости увеличения напора их устанавливают последовательно, а при недостаточной подаче – параллельно с объединением напорных трубопроводов одним

пульповодом. Перекачиваемая грунтовыми насосами пульпа обычно содержит 10–12 % частиц грунта. При небольших объемах работ, например, на водоотливе при сильно загрязненной воде, когда нельзя применить обычные водяные насосы, а установка грунтового насоса нецелесообразна, используют **гидроэлеваторы** (рис. 5.34), струйные насосы – аппараты для перекачивания пульпы за счет энергии водяной струи, подаваемой внешним водяным насосом.

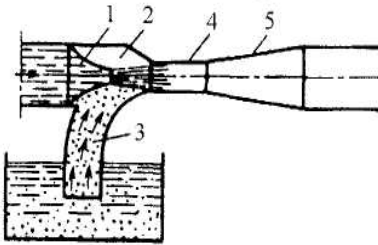


Рис. 5.34. Принципиальная схема работы гидроэлеватора

Вода поступает через насадку 1 (рис. 5.34) в камеру 2 и далее, через горловину 4, в диффузор 5. При движении водяной струи с большой скоростью в камере образуется вакуум, вследствие чего в нее по трубопроводу 3, опущенному в водоем (резервуар), всасывается пульпа и увлекается струей в диффузор, где скорость потока снижается с преобразованием его кинетической энергии в потенциальную энергию давления, обеспечивающего перемещение смеси по транспортному трубопроводу. Гидроэлеваторы просты по конструкции, но имеют весьма низкий КПД, стремительно снижающийся с увеличением дальности транспортирования, в связи с чем ее предельные значения не превышают 25÷35 м.

Для формирования и направления водяной струи применяют **гидромониторы**. Они бывают низконапорными (давление до 1÷1,2 МПа) и высоконапорными (более 1,2 МПа). Управляют гидромонитором вручную рычагом, установленным на его стволе, или дистанционно. В строительной гидромеханизации применяют, в основном, гидромониторы на салазках, перемещаемые в забое лебедками, тракторами или вручную. Известны также самоходные гидромониторы на гусеничном ходу [10].

Гидромонитор (рис. 5.35) состоит из установленных на салазках 7 нижнего 1 и верхнего 2 колен, ствола 4 и насадки 5. Колена соединены между собой горизонтальным шарниром для поворота верхнего колена относительно нижнего в плане, а верхнее колено со стволом – шаровым шарниром 3 для установки ствола в нужном как горизонтальном, так и вертикальном направлениях.

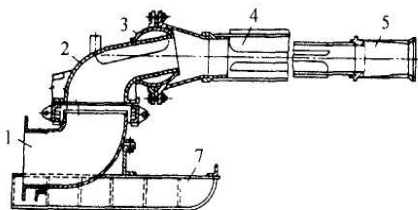


Рис. 5.35. Гидромонитор

Нижнее колено соединяется с водоводом для подачи воды от насосной установки. Для компактного формирования струи насадка сужается к выходному концу, а для направления струи без ее вращения внутренняя поверхность ствола имеет продольные ребра.

Эффективность работы гидромонитора зависит от размывающей способности струи, характеризуемой давлением на забой, зависящим от ее давления на выходе из насадки, площади поперечного сечения последней, расстояния от насадки до забоя. Чем ближе насадка к забою, тем выше давление струи на последний. Однако из-за опасности завала обрушающимся грунтом гидромонитор, в особенности с ручным управлением, приходится располагать от забоя на расстояниях, менее эффективных для размыва грунта.

Производительность гидромонитора по воде определяют через расход ($\text{м}^3/\text{ч}$):

$$Q_{г.м} = 3600 \mu \omega \sqrt{2gH}, \quad (5.17)$$

где $\mu = 0,9 \div 0,93$ – коэффициент расхода; ω – площадь поперечного сечения насадки, м^2 ; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; H – напор.

В гидротехническом строительстве земснарядами разрабатывают котлованы под гидротехнические сооружения, возводят плотины и другие насыпи, разрабатывают песчано-гравийные месторождения. Строительные земснаряды не приспособлены для работы на судоходных фарватерах и чаще всего не имеют автономных силовых установок. Чаще они питаются электроэнергией от внешней электросети. При смене строительного объекта земснаряд перемещают по воде буксиром. Автономными силовыми установками оборудованы земснаряды, часто меняющие строительные объекты. Для возможности перебазирования по суше и связанного с этим частого монтажа и демонтажа корпуса земснарядов делают сборно-разборными из отдельных понтонов и секций, способных самостоятельно удерживаться на плаву.

Основными параметрами земснаряда являются его производительность по грунту, напор, который способен развивать грунтовый насос, определяющий дальность транспортирования пульпы, и максимальная глубина забора грунта. Кроме того, земснаряд характеризуется размерами корпуса судна, его полным водоизмещением и осадкой, шириной полосы, в пределах которой разрабатывается грунт, общей потребляемой мощностью и ее составляющими, тяговым усилием и скоростями папильонирования (см. ниже). В индексе земснаряда указывают его условную производительность по грунту, примерно равную 1/10 производительности грунтового насоса по пульпе, и через дефис полный напор, развиваемый грунтовым насосом, за вычетом гидравлических потерь в пределах земснаряда.

Например, земснаряд ГТ500 обеспечивает условную производительность по грунту $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ по пульпе) при давлении до 0,6 МПа.

Грунтозаборные устройства устанавливают на нижнем конце рамы 2, шарнирно соединенной с понтоном 3 и подвешенной на полиспасте подъемной лебедки. Известно также использование для этого гидравлических цилиндров. При разработке слабых грунтов без предварительного рыхления нижний конец грунтовода в виде трубы, уложенной на раме и соединенной с всасывающим патрубком грунтового насоса,

снабжают наконечниками различной формы преимущественно круглыми (рис. 5.36, а), реже эллиптическими (рис. 5.36, б). Щелевидные наконечники (рис. 5.36, в) применяют для дноуглубительных траншейных работ.

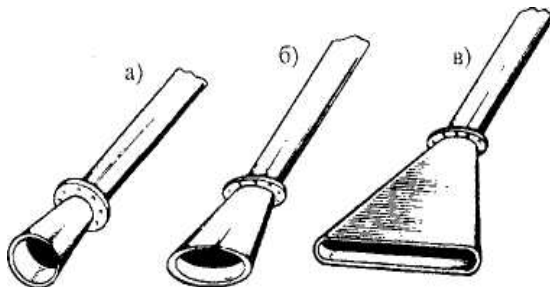


Рис. 5.36. Всасывающие наконечники грунтозаборных устройств

Для механического рыхления плотных грунтов на конце стрелы устанавливают фрезы 1 (см. рис. 5.36) вращательного действия с приводом от общего двигателя или индивидуально электродвигателем, установленным на подъемной раме в ее верхней части. Известны также приводы фрезы гидромоторами, установленными под водой в нижней части рамы.

В процессе разработки грунта земснарядом нижний конец грунтозаборного устройства непрерывно перемещается по дну водоема, оставляя после себя выработку в виде узкой полосы. Эти перемещения (*папильонирование*) осуществляются перемещениями всего земснаряда в определенном порядке [10].

Перемещение земснаряда при папильонировании обеспечивается работой только папильонажных лебедок, расположенных в носовой и кормовой частях земснаряда (канатное папильонирование) (рис. 5.37, а), или одновременной работой лебедок и двух свай, расположенных за кормой (свайное папильонирование) (рис. 5.37, б). В первом случае в продольном направлении земснаряд подтягивается на заякоренном перед ним канате становой лебедки, а поперечные перемещения обеспечиваются носовыми лебедками при фиксированном кормовыми лебедками центре вращения.

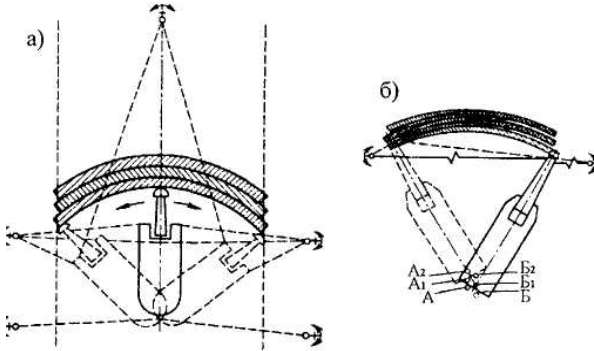


Рис. 5.37. Схемы рабочих перемещений земснаряда

Из-за неравномерности сопротивлений папильонажным перемещениям при канатном папильонировании не удастся добиться четкого направления перемещения грунтозаборного устройства. Лучшие результаты дает свайное папильонирование с применением так называемого аппарата свайного хода. Для этого земснаряд оборудуют двумя трубчатыми сваями *б* (см. рис. 5.37) с массивными заостренными нижними наконечниками. Сваи устанавливают в направляющих за кормой. Свайное папильонирование заключается в попеременном вращении земснаряда папильонажными лебедками относительно одной из опущенных на дно водоема свай (см. рис. 5.37, б). При этом вторая свая находится в поднятом положении. В конце поворотного хода положения свай меняют и папильонируют в обратном направлении. Сваи поднимают лебедками.

Производительность земснаряда по пульпе определяют по подаче Q_n (м³/ч) грунтового насоса, а для ее перевода в производительность Π_0 (м³/ч) по грунту, приведенному к состоянию естественного залегания, пользуются формулой:

$$\Pi_0 = Q_n k, \quad (5.18)$$

где $k = \frac{c}{1+c}$ – коэффициент, учитывающий консистенцию пульпы *c*. Последнюю определяют отношением объема грунта, приведенного к естественному состоянию, к объему воды в определенном объеме пульпы, обычно $c \approx 0,1 \div 0,12$.

Для более полной эксплуатационной характеристики земснаряда вместе с его производительностью приводят дальность транспортирования пульпы.

Вопросы и ответы для усвоения материала

Вопрос: Какие виды земляных работ выполняются бульдозером?

Ответ: Бульдозер – самоходная землеройная машина, представляющая собой гусеничный или колёсный трактор, тягач и тому подобные с навесным рабочим органом – криволинейным в сечении отвалом (щитом), расположенным вне базы ходовой части машины. Служит для послойного копания, планировки и перемещения (на расстояние 60–150 м) грунтов при планировке стройплощадки, на строительстве и ремонте дорог, каналов, гидротехнических и тому подобных сооружений.

Различают бульдозеры: с неповоротным отвалом, установленным перпендикулярно продольной оси базовой машины; с поворотным отвалом, который в горизонтальной плоскости можно устанавливать под углом в обе стороны от продольной оси машины или перпендикулярно к ней; универсальные с отвалом из двух шарнирно сочлѐнных половин, устанавливаемых в горизонтальной плоскости под различными углами к продольной оси машины или перпендикулярно к ней (путепрокладчик). Отвалы всех типов бульдозеров оснащаются механизмами с гидравлическим, канатным или электромеханическим приводом для подъема – опускания, поворотов в плане, перекосов в поперечной плоскости, наклона вперед – назад по ходу. Бульдозеры снабжаются сменным оборудованием (рыхлительными зубьями, откосниками, уширителями, открьлками и др.), расширяющим область их применения и повышающим эффективность на отдельных работах.

Вопрос: Что собой представляет скрепер?

Ответ: Скрепер (англ. scraper, от scrape – скрести) – землеройно-транспортная машина, которая рабочим органом (ковшом) послойно срезает грунт с поверхности,

транспортирует его и разгружает в отвал или разравнивает. Может использоваться для послойной разработки грунтов, их транспортировки и отсыпки слоя заданной толщины. Для увеличения производительности набор грунта скрепером производится с помощью трактора-толкача или бульдозера. Допускается загрузка экскаватором или ковшовым погрузчиком, что расширяет универсальность использования скрепера. Применение скреперов целесообразно для быстрого выполнения нулевого цикла земляных работ и передачи площадей для дальнейших строительных работ.

Скреперы классифицируются по виду тяги (самоходные и прицепные), способам загрузки и разгрузки (свободная и принудительная), параметрам ковша, типу привода и другим признакам. При наборе грунта скрепер движется вперёд с опущенным ковшом. Грунт разгружается обычно из ковша на ходу, высыпаясь между колёсами, реже – назад (за колёса). Возможна разгрузка грунта слоями толщиной до 0,5 м. Емкость ковшей скреперов, выпускаемых в РФ, 3–25 м³. Дальность перевозки грунта 0,1–5 км. Внедряются скреперы с принудительной загрузкой ковша с помощью скребковых элеваторов и с автоматизированным управлением.

Вопрос: Как выбирается нужная модификация строительных экскаваторов?

Ответ: Данный вид строительной техники выполняет копание и перемещение грунта посредством ковша или механизма непрерывного действия (цепного или роторного). Выбор определенной модификации экскаватора диктуется характером выполняемых работ, их особенностями, и правильное определение необходимой в каждом конкретном случае машины значит очень много.

Чтобы верно оценивать эксплуатационные возможности машины, надо хорошо знать их индексацию. Первые буквы всегда будут обозначать классификацию, например ЭО – экскаватор одноковшовый. Далее следуют 3 основные цифры индекса:

- размерная группа экскаватора (вместимость ковша);
- ходовое устройство;
- конструкция рабочей подвески.

Имеется и четвертая цифра в индексе, которая обозначает порядковый номер модели экскаватора.

Затем опять следует буквенная индексация: первая из дополнительных букв (А, Б, В и т. д.) означает порядковую модернизацию данной машины, последующие – вид климатического исполнения (С или ХЛ – северное, Т – тропическое, ТВ – для работы во влажных тропиках).

Например, индекс ЭО-5123ХЛ можно расшифровать так: экскаватор одноковшовый универсальный, 5-й размерной группы, на гусеничном ходовом устройстве, с жесткой подвеской рабочего оборудования, третья модель в северном исполнении.

Вопрос: Как различаются экскаваторы по типу ходового устройства?

Ответ: Тип ходового устройства указывается цифрами с 1 по 9:

- 1 – гусеничное (Г);
- 2 – гусеничное уширенное (ГУ);
- 3 – пневмоколесное (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.

Вопрос: Как подразделяются размерные группы экскаватора?

Ответ: Для каждой размерной группы обычно указывается 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 4 категории.

Вместимость основных ковшей экскаваторов составляет: для 2-й размерной группы – $0,25\text{--}0,28\text{ м}^3$, 3-й – $0,40\text{--}0,65\text{ м}^3$, 4-й – $0,65\text{--}1\text{ м}^3$, 5-й – $1,0\text{--}1,6\text{ м}^3$, 6-й – $1,6\text{--}2,5\text{ м}^3$, 7-й – $2,5\text{--}4\text{ м}^3$.

В последнее время все большее применение получают малогабаритные мини- и микроэкскаваторы. Они могут отрыть

котлованы, траншеи, выполнить работу в труднодоступных местах. В коттеджном и дачном строительстве они незаменимы.

Вопрос: Каковы условия применения различного рабочего оборудования экскаваторов?

Ответ: Гибкая подвеска рабочего оборудования на экскаваторах подразделяется на имеющие:

- оборудование с прямой лопатой;
- оборудование с обратной лопатой.

Экскаваторы с оборудованием прямой лопаты и с разгрузкой в транспортные средства или отвал целесообразно применять для рытья котлованов преимущественно в крепких, каменистых и скальных породах и грунтах, а также в устойчивых грунтах средней крепости.

Оборудование обратной лопаты используется для рытья узких траншей (шириной 0,7–1,5 м и глубиной до 8 м), особенно с вертикальными стенками для прокладки сетей канализации, устройства фундаментов в крепких и каменистых грунтах, а также сооружения небольших котлованов. Рабочее оборудование экскаватора-драглайна состоит из стрелы и ковша, подвешенного к стреле при помощи подъемного и тягового канатов. Выемку грунта драглайн производит, как правило, ниже уровня установки экскаватора; ковши применяются различной емкости – в скальных предварительно разрыхленных породах допускается работа драглайна при емкости ковша свыше 10 м³. Продолжительность цикла обычно на 10–20 % больше, чем при работе экскаватора с оборудованием прямой лопаты. С оборудованием драглайна работает до 40 % одноковшовых экскаваторов.

Вопрос: В чем отличие траншейных экскаваторов от одноковшовых?

Ответ: Главное назначение траншейных экскаваторов – выемка грунта при строительстве подземных коммуникаций. Их производительность выше, чем одноковшовых.

Индексация траншейных экскаваторов схожа с одноковшовыми, но имеет свои особенности. Например, индекс ЭТЦ-252А обозначает: экскаватор траншейный цепной, глубина копания 25 дм, вторая модель – 2, прошедшая первую

модернизацию – А. То есть цифры в данном случае уже отражают и конкретные характеристики машины.

Вопрос: Что собой представляют экскаваторы-планировщики?

Ответ: Экскаваторы-планировщики в основном применяются для планировки грунтовых откосов. Однако могут выполнять широкий круг и других экскавационных работ: копание грунта, погрузку грунта и других материалов в транспортные средства, рыхление грунта и кирковку дорожных покрытий.

Благодаря своей универсальности экскаваторы-планировщики нашли широкое применение в дорожном хозяйстве при строительстве, реконструкции, ремонте и даже содержании автомобильных дорог, на которых значительную долю в их протяженности занимает земляное полотно на насыпи или в выемке. Если основная высота земляного полотна в равнинной местности не превышает 2,0–2,5 м и в момент строительства планировка откосов может выполняться автогрейдером, то при ремонте и содержании автомобильных дорог, когда требуется подать грунт на места размывов откоса, уплотнить его и спланировать – экскаватор-планировщик незаменим.

Экскаваторы-планировщики выпускаются на пневмоколесном и гусеничном ходу.

Гусеничные машины применяются исключительно на строительстве выемок, каналов и планировке откосов земляного полотна. Применение их на ремонте и содержании земляного полотна автомобильных дорог связано с постоянным использованием прицепов-тяжеловозов для их доставки к месту работ и удаления после завершения работ. Поэтому на ремонте и содержании дорог они используются крайне редко. Экскаваторы-планировщики на пневмоколесном ходу нашли широкое применение именно на ремонте и содержании автомобильных дорог. Они незаменимы при подаче грунта на откос земляного полотна в местах образования промоин; снятии, замене и ремонте растительного слоя грунта на откосах, а также при устройстве на откосах водоотводных сооружений.

Вопрос: Почему растет спрос на мини-экскаваторы?

Ответ: Очень малые габаритные размеры, низкое давление на опорную поверхность при высокой проходимости и маневренности позволяют использовать такие мини-машины внутри станций метрополитена, в подвалах и на этажах высотных жилых и административных зданий, в трюмах судов, в морских и речных портах. Достоинством мини-экскаваторов является быстрое выполнение работ небольших объемов на объектах, удаленных друг от друга, благодаря возможности их транспортировки в кузове грузовых автомобилей, а также установки и работы на очень малых стройплощадках. Все фирмы-производители обращают особое внимание на вопросы перебазировки мини-экскаваторов. Так, перевозка на стандартных или специальных низкорамных прицепах трудностей не вызывает. Имеется также опыт перемещения мини-экскаваторов контейнеровозами, на которые мини-экскаватор самопогружается с помощью своей стрелы и так же разгружается.

Вопрос: Какие виды земляных работ может выполнить мини-экскаватор?

Ответ: Мини-экскаваторами отрывают водоотводные канавы (кюветы) вдоль загородных автомобильных дорог, скважины для стоек ограждений, опор линий электропередач, траншеи различного поперечного сечения для прокладки сетей, небольшие траншеи и котлованы для оснований фундаментов зданий и сооружений, осуществляют строительство очистных сооружений, бассейнов, благоустройство скверов, парков, садов, выполняют строительство спортивных площадок. Мини-экскаватор может работать в стесненных условиях, он имеет низкое давление на грунт – только $0,26 \text{ кг/см}^2$, что дает возможность вести работы по устройству аллей, дорожек, площадок для стоянок машин на пересеченной местности, не нарушая растительный покров прилегающей территории (сада, парка).

Некоторые модели мини-экскаваторов способны эффективно и быстро выполнять следующие работы: в

комплектации с отбойным молотком применяться для разрушения старых зданий и сооружений; в комплектации с обычным или двустворчатым ковшом – для многопрофильных земляных и погрузочных работ; в комплектации с управляемым вращающимся ковшом – для работ в саду, мелиоративных и лесопосадочных работ.

Есть модели мини-экскаваторов, которые оснащаются дополнительным навесным оборудованием: ковш, планирующий ковш, подвижный ковш, двустворчатый ковш, бур.

Вопрос: В каких условиях может эксплуатироваться мини-экскаватор?

Ответ: Примером удачного применения мини-экскаватора является его эксплуатация на строительстве участка железной дороги Ганновер–Вюрцбург. Из-за плохой погоды грунт сильно размок, и использование обычных экскаваторов было невозможно. Мини-экскаватор Z206 благодаря своей малой массе (4700 кг) успешно выполнил всю необходимую работу. Фирма „Richter”, специализирующаяся на строительстве газопроводов и имеющая свой парк экскаваторов-погрузчиков, в течение нескольких недель в качестве основной машины также эксплуатировала мини-экскаватор Z206. В процессе работ экскаватор оборудовали ковшом обратной лопаты шириной 600 мм (емкость – 143 л) или 400 мм (емкость – 86 л). Фирма отмечает возможность использования данного экскаватора для загрузки автосамосвалов, большое усилие резания ковша и его хорошую устойчивость, а также удачную конструкцию стрелы, которую можно крепить в трех положениях с помощью одного болта. Продумана и компоновка гидросистемы, что должно повысить ее долговечность.

На рис. 5.28 показана кабина современных минипогрузчиков, где можно войти и работать без риска для здоровья.



Рис. 5.28. Мини-экскаватор

Вопрос: Как управляется мини-экскаватор?

Ответ: Двигатель мини-экскаватора модели HR12 (ФРГ) запускается очень быстро, причем все необходимые для запуска операции сосредоточены на небольшом и аккуратном командном пульте под подлокотником для правой руки оператора. Чтобы начать движение, надо запустить двигатель, приподнять ковш и отпустить стояночный тормоз, нажав на тумблер на панели прямо над дверным проемом. Чтобы привести машину в движение, необходимо любой из двух крайних боковых рычагов, жестко связанных друг с другом, поднять в крайнее верхнее положение. Две средние педали и соединенные с ними рычаги управляют работой гусениц. Головки рычагов свободно размещаются в одной руке, и их избирательное совместное перемещение обеспечивает плавное движение вперед-назад и для совершения обоих поворотов. Экскаватор имеет удобный в обслуживании гусеничный механизм, подрессоренное ведущее колесо с системой гидронатягивания гусеницы. Предусмотрено независимое управление гусеничным движителем, двухцикличная гидравлика, комбинированное управление через ручные рычаги и ножные педали.

Вопрос: Как работает двигатель?

Ответ: Двигатель оснащен электроподогревом впускного воздуха, который включается при повороте ключа в замке

зажигания, и стартер не запустится, пока не погаснет индикатор с символом спирали. После останова двигателя стояночный тормоз включится автоматически. Рядом с тумблером тормоза соседствуют выключатели световой сигнализации. Символ, похожий на мальтийский крест, на самом деле – выключатель вентилятора системы отопления. Левее панели выключателей расположены счетчик машино-часов и три стандартных аналоговых прибора, показывающих температуру охлаждающей и гидравлической жидкостей и уровень топлива. Справа – световые индикаторы, причем индикатор с символом ковша горит постоянно: функция выравнивания ковша при подъеме-опускании автоматическая, в чем можно убедиться, манипулируя им.

Вопрос: Не влияет ли «миниатюрность» данной экскаваторной техники на условия работы обслуживающего персонала?

Ответ: Отнюдь. К примеру, рабочая кабина модели HR12 имеет надежную звукоизоляцию, феластовое напольное покрытие, оборудована ударостойким стеклом, подъемным передним (ветровым) стеклом, укомплектована регулируемым сиденьем, галогеновыми фарами, радио. У этой же модели есть обогрев кабины и переднего стекла. Обе двери кабины (левая и правая) распахиваются на угол 180° с фиксацией в крайних положениях, что обеспечивает удобную посадку-высадку оператора. Для того чтобы боковой обзор (влево и вправо) был сопоставим в случае открытых и закрытых дверей, последние снабжены верхним и нижним стеклами, которые занимают не менее 80 % всего дверного проема. В то же время двери достаточно прочны благодаря наличию среднерасположенного пояса в стальной части корпуса двери. В этом самом поясе размещается рукоятка с замком для запираания кабины. Передняя часть кабины сплошь покрыта стеклом (от пола до потолка), так что наблюдение за стрелой и рабочим органом не вызывает затруднений.

Погрузочно-разгрузочная техника и грузоподъемные механизмы

Вопрос: Какие погрузочно-разгрузочные машины используются на стройплощадке?

Ответ: Погрузчики подразделяются на следующие виды: ковшовые, вилочные и многоковшовые (непрерывного действия). В дачном и коттеджном строительстве наиболее чаще применяют фронтальный погрузчик, бульдозер-погрузчик и малогабаритный универсальный погрузчик. Фронтальный погрузчик обеспечивает разгрузку ковша вперед в пределах заданной высоты. Основной ковш (1 м^3) имеет прямую режущую кромку со съёмными зубьями.

Бульдозер-погрузчик наряду с погрузочно-разгрузочными работами может осуществлять планировку площадок и засыпку ям. В качестве основного сменного оборудования используется гидроуправляемый отвал и ковш объемом $0,38$ или $0,5 \text{ м}^3$.

Малогабаритные погрузчики предназначены для выполнения работ в особо стесненных условиях. Они имеют большой выбор сменного оборудования и успешно применяют зачистной ковш, обратную лопату, грузовую стрелу, вилы, гидромолот, бур, бульдозерный отвал, траншекопатель. Такой погрузчик может совершить разворот на месте на 180 градусов, работать при ширине не более 4 метров.

Вопрос: Можно ли использовать экскаватор для погрузочно-разгрузочных работ?

Ответ: При необходимости можно. Но лучше использовать погрузчик. Впрочем, есть машины, оснащенные оборудованием и для экскавации, и для погрузки. Конечно же, погрузочный ковш имеет большую вместимость. Например, погрузчик-экскаватор ПК-301 производства ОАО «Муроммашзавод» оборудуется экскаваторным ковшом объемом $0,48 \text{ м}^3$ и погрузочным – $1,5 \text{ м}^3$. Кстати, имеет неплохие характеристики: максимальная глубина копания – 420 см, максимальная высота подъема ковша экскаватора – 520 см, максимальная высота погрузки в транспортное средство – $352,5$ см. Приобретая одну машину вместо двух, потребитель получает экономию средств при покупке, также снижаются затраты на обслуживание и ремонт. Особое внимание уделено созданию безопасных и комфортных условий труда машиниста: усилие на рычагах и педалях значительно ниже нормативных, рулевая колонка с

изменяемым углом наклона, хорошая обзорность. Удобная кабина имеет хорошую звукоизоляцию, оснащена регулируемым креслом на упругой подвеске с поворотом на 360 градусов.

Имея колесное ходовое устройство, ПК-301 может свободно перемещаться по автодорогам.

Вопрос: Что такое грейфер?

Ответ: Грейфер – грузозахватное приспособление экскаваторов, подъемных кранов, погрузчиков и монорельсовых тележек, снабженное поворотными челюстями для захвата груза. Грейферы применяют для перегрузки и транспортирования на небольшие расстояния сыпучих и кусковых грузов, лесоматериалов и др. Наиболее распространены грейферы для сыпучих грузов емкостью 0,8–1,5 м³. Грейфер для лесоматериалов (бревен, балансов, дров и т. д.) по устройству аналогичен грейферу для сыпучих грузов, но имеет челюсти специальной конструкции – каждая состоит из двух когтей, отогнутых вниз и соединённых балкой. Применение грейферов позволяет полностью автоматизировать операции захвата и освобождения различных грузов.

Вопрос: Какие виды крановой техники используются в строительстве?

Ответ: При гражданском и промышленном строительстве используют преимущественно башенные краны. Конструкция строительных башенных кранов позволяет быстро осуществлять их монтаж и демонтаж, и перевозку автотранспортом. Они выполняются обычно крюковыми с поворотной и неповоротной башней, которая при большой высоте делается телескопической или наращиваемой (сверху) и подрачиваемой (снизу). Строительные подъемные краны обычно передвигаются по рельсам, а при значительной высоте выполняются также приставными (опираются на землю и на каркас строящегося здания) или самоподъёмными, называют иногда ползучими (опираются на здание и перемещаются вертикально по мере роста возводимого сооружения).

Однако довольно часто используются краны на автомобильном, пневмоколесном и гусеничном ходу: обычно их называют стреловыми кранами. Они имеют стреловые устройства в виде подъемной (качающейся) стрелы или

консольной стрелы, по которой перемещается грузовая тележка с канатной тягой. Для увеличения устойчивости имеют выносные опоры (аутригеры). Крановые металлоконструкции, как правило, изготавливают сварными. Для снижения веса конструкций их изготавливают из низколегированных сталей повышенной прочности, а также из алюминиевых сплавов. Вылет строительных кранов достигает 40 м, высота подъема 150 м; скорости движений: подъема груза 10–100 м/мин, вращения 0,2–1,0 об/мин, передвижения крана (установочное движение) 10–30 м/мин. Грузоподъемность (переменная) достигает 75 т (при минимальном вылете).

Вопрос: Что такое аутригеры?

Ответ: Это выдвижные опоры, которые необходимы для достижения устойчивости и полностью разгружают переднюю ось при работе крана. Аутригеры характеризуются по принципу и длине выдвижения: ручные (в горизонтальном направлении) с определенной фиксацией (как правило, в трех положениях), ручные с фиксацией при любой длине выдвижения, гидравлические (на мощных установках) с фиксацией при любой длине выдвижения. При работе важно учитывать состояние грунта – обычно под опоры применяются разной конструкции жесткие подушки (50х50 см). Вообще, аутригеры – очень полезные штуки. Они позволяют изменять угол наклона крана. При подъеме тяжелого груза ближнюю опору к грузу поднимают выше, чтобы избежать опрокидывания крана.

Вопрос: Какие новые технологии обеспечивают преимущества зарубежному краностроению?

Ответ: Прежде всего, много внимания уделяется новым технологиям в области создания телескопических крановых стрел. Все популярней становится овальный профиль, пришедший на смену четырехгранной сварной конструкции. Стрелы с овальным профилем прогрессивней сварных квадратных. Конструкция из двух сваренных овальных частей получается прочней, чем при сваривании четырех плоских. Здесь технология в полной мере решила проблему выбора между массой и прочностью – стрела с овальным профилем легче и прочней. Применяются шестигранные стрелы с закругленными краями. Такая конструкция делает стрелу легче,

увеличивается ее грузоподъемность. Некоторые модели-тяжеловесы оснащают стрелой с ромбическим профилем.

Современные электронные индикаторы момента нагрузки (LMI) и системы anti-two-block – это два важных шага к полной безопасности работы на кране. Сенсоры измеряют радиус загрузки, угол стрелы, ее длину, текущую нагрузку на стрелу и показывают это все на дисплее приборной панели. Оператор сразу видит, насколько машина отрегулирована, в каком положении находятся аутригеры, а компьютер LMI вычисляет допустимую массу груза. И все это выводится на экран в режиме реального времени. Компьютер может вообще отстранить оператора от управления краном, заблокировав все управляющие рычаги, прежде чем ситуация станет опасной. Подобные системы позволяют операторам грамотно подготовить рабочую площадь для крана, задать ее границы, установить ограничения на амплитуду раскачиваний, максимальную высоту или угол наклона стрелы, чтобы избежать непредвиденных ситуаций. Компьютер знает, где кран может работать безопасно, и оповещает оператора, если стрела приближается к границе этой безопасной рабочей зоны. Некоторые системы блокируют управление не после нарушения заданного лимита, а раньше, во избежание все тех же опасных ситуаций.

При производстве крановых конструкций применяется тефлоновое покрытие, которое наносят на трущиеся поверхности. Тефлон обеспечивает скольжение и тем самым избавляет от необходимости в смазке.

Вопрос: Что собой представляет современный автокран российского производства?

Ответ: Наиболее известны российские краны под маркой «Ивановец». Привод механизмов крана КС-35715-2 – гидравлический от насоса, приводимого в действие двигателем шасси. Стрела телескопическая, двухсекционная. Для увеличения производительности комплектуется легким решетчатым удлинителем стрелы (так называемый «гусек»). Микропроцессорный ограничитель грузоподъемности позволяет следить за степенью загрузки крана, длиной и вылетом стрелы, высотой подъема оголовка стрелы, а также автоматически ограничивать зону действия крана. Телеметрическая память

(«черный ящик») фиксирует рабочие параметры и степень нагрузки крана в течение всего срока службы.

Вопрос: Что собой представляет крановая тележка?

Ответ: Крановая тележка была разработана специально для перемещения и подъема грузов средней тяжести внутри производственных и складских помещений. Появление такого оборудования обусловлено тем, что у потребителей не всегда есть возможность использовать автокран (из-за габаритных ограничений), тельфер или кран-балку. А у «крана-манипулятора» есть важное преимущество для работы в закрытых помещениях – выхлопные газы не выделяются (привод – от электродвигателя)! Благодаря автономности крана достигается отличная экономия денег и времени. Этот механизм представляет собой изготовленную из легированной стали сварную рамную конструкцию с ходовой частью. На раму устанавливается гидравлическая крано-манипуляторная установка, работу которой обеспечивает гидростанция, питающаяся от промышленной электросети напряжением 380 В. Для запуска механизма достаточно вставить вилку в трехфазную розетку и нажатием клавиши включить электродвигатель. Для питания гидростанции также может применяться автономный электрогенератор. Конструкция рассчитана с коэффициентами запаса на выполнение краном полноценной работы с грузами на заданных вылетах стрелы. А поднимает этот небольшой по размерам «кран-манипулятор» (длина – 3,5 м, ширина – 2,2 м, высота – 2,5 м) более 3 т и забрасывает груз массой свыше 600 кг на высоту (длину) до 9 м.

Вопрос: Какой кран наиболее оптимален при строительстве коттеджа?

Ответ: Кран стреловой переставной КЛ-1Б типа «Пионер» может быть использован для механизации строительно-монтажных работ при строительстве загородных домов и сооружений. Кран может работать как при установке его на уровне земли, так и на перекрытиях строящихся зданий.

Вопрос: Каким строительным оборудованием перемещаются стройматериалы на верхние этажи зданий?

Ответ: На рынке строительной техники есть подъемник строительный «Умелец». Он предназначен для подъема, спуска и перемещения через проемы зданий и сооружений различных

строительных материалов и оборудования массой до 320 кг. Допускается установка подъемника на крышах домов при условии защиты его от атмосферных осадков. Подъемник имеет вылет стрелы 2 м и оснащен колесами, позволяющими его легко передвигать. Высота подъема – до 50 м. Скорость подъема груза – до 20 м/мин. Мощность электродвигателя – 1,7 кВт. Масса противовесов – не менее 180 кг.

Но на большинстве строительных объектов по привычке устанавливают мачтовый подъемник. Он предназначен для подъема и подачи внутрь проемов зданий различных строительных грузов при жилищном строительстве, отделочных работах и ремонте. Подъемник крепится к стене здания. Более подробно характеристики этого механизма изложены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Характеристики мачтового подъемника

Высота подъема максимальная, м	49
Грузоподъемность, кг	320 и 500
Перемещение груза по горизонтали, м	2
Скорость подъема, м/с	0,31
Мощность двигателя, кВт	4,0
Канат грузовой, диаметр, мм	8,8
Габаритный размер основания	1730х660х3000
Размер грузовой каретки, мм	3000х500
Масса секции, кг	50
Масса основания, кг	800

Техника для транспортировки и укладки растворобетонных смесей

Вопрос: Каков наиболее эффективный способ транспортировки бетонных смесей на строительный объект?

Ответ: С использованием передвижных автобетоносмесителей (их чаще всего называют автомобилями-миксерами), которые готовят бетонную смесь в пути следования к объекту. Автобетоносмеситель, будучи уже загруженным качественной смесью, активирует (перемешивает) ее в пути. Оптимальная температура для работы этих машин: от –30 до +40 градусов. Нередко в автобетоносмесителе объединены несколько функций:

транспортировка бетона, подача бетона на высоту до 28 м, моментальная подача бетона в любую точку радиусом до 24 м. Таким образом, данная машина является одновременно и миксером, и бетононасосом, и распределительной стрелой, и предназначена для устройства монолитных бетонных конструкций.

Вопрос: Какие виды техники используются на стройплощадке для подачи бетонных смесей к месту укладки?

Ответ: При возведении зданий и сооружений из монолитного бетона или железобетона для приема бетонной смеси от бетонотранспортных средств (например, «миксеров») и подачи их к месту укладки устанавливаются автобетононасосы. При использовании стационарного бетоновода с бетонораспределительной стрелой высота подачи смеси составляет до 80 м по вертикали. Автобетононасос эксплуатируется при температуре от -5 до $+40$ °С. В качестве базового шасси для автобетононасосов серий СБ и БН применяются автомобили КамАЗ-53213, Урал 4320-1912. На отечественный рынок также поставляются импортные автобетононасосы систем CIFA, Pulsar, «Пуццмастер», KVM.

Бетононасосы-прицепы являются стационарными устройствами для транспортирования бетонных смесей, в том числе и на значительные расстояния. Существуют облегченные установки, которые можно поднимать на этажи здания. Разновидностью данной техники являются установки для транспортирования пенобетонных смесей.

Вопрос: Как ускорить процесс уплотнения бетонной смеси на больших площадях?

Ответ: Можно применить вибробрус. Это устройство имеет длину: 1,52–2,29 м. Вес тоже внушительный 120–140 кг. Оснащение двигателем внутреннего сгорания позволяет использовать такую технику на любой стройплощадке. Для перемещения можно использовать не только ручные, но и гидравлические или пневматические лебедки.

Вопрос: Как работают штукатурные агрегаты?

Ответ: Данные механизмы предназначены для приготовления из сухой растворной смеси кладочных, штукатурных или облицовочных растворов (известковых, цементных, цементно-известковых, известково-гипсовых с

содержанием гипса не более 30 %) для последующего транспортирования по рукавам и нанесения на подготовленную поверхность. Могут использоваться на объектах, обеспеченных электроэнергией, водой, сжатым воздухом. Все компоненты растворной смеси в требуемых пропорциях загружаются в верхний бункер агрегата, где осуществляется приготовление растворных составов. Затем готовая смесь сливается в нижний бункер, откуда транспортируется по растворопроводу или рукаву к рабочему месту. Конструкция агрегатов позволяет применять как готовые сухие смеси, так и приготавливать их из компонентов непосредственно в агрегате. При нанесении на подготовленную поверхность растворной смеси с помощью пневматической форсунки к ней должен подаваться сжатый воздух давлением до 0,6 МПа и расходом до 0,5 м³/мин.

Обычно в комплекте агрегатов имеются:

- растворопровод с форсункой;
- принадлежности для нанесения малярных и окрасочных составов;
- вибросито для получения более однородных штукатурных растворов, малярных, окрасочных и других составов.

Агрегаты штукатурные также могут использоваться для приготовления, процеживания, транспортирования по рукавам и нанесения водных грунтовочных, огнезащитных и окрасочных составов, а также масляных и клеевых шпаклевок.

Вопрос: Затирочные машины и заглаживающие машины, есть ли между ними разница?

Ответ: Нет. Затирочные машины предназначены для создания горизонтальной и ровной поверхности – одного из основных требований, предъявляемых к бетонным полам складских и производственных помещений. Для чернового и чистового заглаживания бетонных поверхностей применяются затирочные машины. Поэтому их также называют заглаживающие машины.

Вопрос: Какое оборудование предназначается для подачи воздуха под давлением в строительный пневмоинструмент?

Ответ: Источником получения сжатого воздуха являются компрессоры. Этот вид строительной техники нашел самое

широкое применение как источник энергии в машинах и механизмах, эксплуатируемых в строительном производстве.

Если требуется обеспечить степень повышения давления более чем в 3 раза, то понадобится компрессор. Для подачи воздуха с повышением его давления менее чем в 2–3 раза применяют воздуходувки. Компрессоры впервые стали применяться в середине XIX века. По принципу действия и основным конструктивным особенностям различают компрессоры поршневые, винтовые, а также центробежные, осевые и струйные. Компрессоры также подразделяют по роду сжимаемого газа (воздушные, кислородные и др.), по создаваемому давлению (низкого давления – от 0,3 до 1 МН/м², среднего – до 10 МН/м² и высокого – выше 10 МН/м²).

Вопрос: Зачем использовать на стройплощадке 2–3 компрессора, когда можно установить один, имеющий большую производительность?

Ответ: Использование нескольких компрессоров всегда предпочтительнее по двум причинам. Проведение технического обслуживания или ремонта одного компрессора не приведет к полной остановке работы на объекте. Нередко нагрузка на компрессоры не бывает равномерной в течение всего рабочего дня. Вполне возможно, что для 2-й смены достаточно использовать один из компрессоров. Это позволит сэкономить электроэнергию и увеличить ресурс работы строительной техники.

Вопрос: Что собой представляет поршневой компрессор?

Ответ: Благодаря многоступенчатому сжатию поршневой компрессор является самым дешевым средством переработки и производства сжатого воздуха или газа. В компрессорах этого типа воздух сжимается в замкнутом пространстве цилиндра в результате возвратно-поступательного движения поршня. Конструктивно они представляют собой агрегат, включающий компрессорную головку, электропривод, ресивер и устройство автоматического регулирования давления (прессостат).

Поршневые компрессоры бывают одно- и многоцилиндровые, с вертикальным, горизонтальным, V- или W-образным и другим расположением цилиндров, одинарного и двойного действия (когда поршень работает обеими сторонами), а также

одноступенчатого или многоступенчатого сжатия. Несмотря на вытеснение поршневых компрессоров винтовыми (в диапазоне низких давлений от 6 до 16 атм), такое оборудование незаменимо в технологических процессах с потребностями среднего и высокого давления. При грамотном подходе они высоко экономичны и выгодны в обслуживании. Поэтому и сейчас нередко на крупных строительных объектах есть специальное помещение (так называемая компрессорная), в котором на специальном фундаменте стоит поршневой компрессор.

Вопрос: Каковы преимущества винтового компрессора по сравнению с поршневым?

Ответ: Винтовым называют компрессор, в котором рабочая камера образуется корпусом и винтообразными роторами, имеющими различные профили зубьев. Несмотря на более высокую цену, винтовые компрессоры имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с поршневыми:

- при одинаковом электродвигателе реальная производительность винтового компрессора в 2 раза выше, чем у поршневого;
- винтовые более экономичны, потребляют меньше электроэнергии;
- возможность непрерывной работы 24 ч в сутки;
- значительно больший (в 2–3 раза) ресурс работы;
- более низкий уровень шума, поэтому они могут устанавливаться непосредственно на рабочем месте;
- не требуют специального обслуживающего персонала;
- простота технического обслуживания;
- не требуют водяного охлаждения;
- имеют малые габариты;
- не требуют фундамента.

В строительстве чаще используются именно винтовые компрессоры.

Вопрос: Как определить оптимальный режим загрузки винтового компрессора?

Ответ: Производительность винтового компрессора рекомендуется подбирать с поправочным коэффициентом 0,8.

Недогрузом в 20 % обеспечивается наибольшая надежность и долговечность работы оборудования.

Вопрос: Как не ошибиться при выборе компрессора?

Ответ: Для подбора компрессорной техники требуется знать:

- количество потребляемого воздуха;
- рабочее давление;
- качество воздуха.

Для выполнения расчетов можно использовать данные из табл. 5.2.

Таблица 5.2

Номинальные параметры пневмооборудования

Инструмент	Расход воздуха (л/мин)	Коэффициент использования (Ки)
Окрасочный пистолет	300–400	0,6–0,7
Машинка шлифовальная, полировальная	350–450	0,6–0,7
Отрезная машинка	800–1200	0,5
Обдувочный пистолет	150–250	0,2
Пневмозубило	150–250	0,3

Вопрос: При изучении технических характеристик отечественных и зарубежных компрессоров приходится сталкиваться и с различными единицами измерения, что затрудняет их сравнение. Как они соотносятся друг с другом?

Ответ: Различные единицы измерения соотносятся между собой следующим образом:

Производительность: $1 \text{ м}^3/\text{мин} = 1\,000 \text{ л/мин} = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Давление: $1 \text{ атм} = 98 \text{ кПа} = 0,98 \text{ бар}$.

Мощность: $1 \text{ л.с.} = 0,735 \text{ кВт}$.

Концентрация $1 \text{ ppm} = 1 \text{ мг/м}^3$.

Вопрос: Зачем в компрессоре нужен ресивер?

Ответ: Ресивер – это емкость, в которой хранится сжатый воздух (измеряется в кубических метрах или литрах). Для экономичной работы компрессора очень важно выбрать ресивер нужного объема. Выбор зависит от производительности

компрессора и от объема потребления сжатого воздуха. Многие недооценивают или не понимают предназначение ресивера. На самом деле он выполняет действительно важные функции, такие, как, в первую очередь, накопление и хранение сжатого воздуха, во-вторых, гашение пульсаций сжатого воздуха. К тому же в ресивере из сжатого воздуха выпадает значительная часть конденсата, который является крайне нежелательным составляющим при выполнении любых видов работ.

Вопрос: Какой компрессор можно использовать, если на стройплощадке нет электроэнергии?

Ответ: На таких строительных площадках можно применить компрессорную передвижную установку КТ-16 производства Челябинского компрессорного завода. Установка КТ-16 приводится в действие от вала коробки отбора мощности тракторов Т-40, МТЗ-80, МТЗ-83, Т-150. Она смонтирована на одноосном шасси, обеспечивает работой два поста (как правило, используются для привода одного, двух отбойных молотков). Создает рабочее давление 10 атм при производительности на выходе 1500 л/мин. Емкость ресивера 300 л при габаритных размерах 315х215х175 (см) и массе 0,98 т.

Также может быть использована передвижная винтовая установка ЗИФ-ПВ-5М, оборудованная двигателем внутреннего сгорания Д-144-60 мощностью 44 кВт. Она может создать рабочее давление 7 атм при производительности на выходе из компрессора 1500 л/мин. Имеет габаритные размеры 385х173х180 (см) при массе 1,41 т.

ГЛОССАРИЙ

Автоматизация – применение технических средств и систем контроля и управления строительными машинами или оборудованием на производственных предприятиях, освобождающих рабочих частично или полностью от непосредственного участия в технологических процессах.

Агрегат – укрупненный унифицированный узел машины, обладающий полной взаимозаменяемостью и выполняющий определенные функции в техническом процессе, механическое соединение нескольких машин, работающих в комплексе.

Агрегатирование – метод компоновки машины из унифицированных деталей, узлов и агрегатов, обладающих взаимозаменяемостью.

Базовая машина – основная машина, отражающая конструктивно-технические характеристики данной группы изделий.

Выработка машины – объем выполненных работ в натуральном измерении, приходящийся на одну среднесписочную машину или ее главный параметр (1 м^3 вместимости ковша, 1 т грузоподъемности и т. д.).

Габаритная полоса движения – разность радиуса поворота точек, наиболее удаленной и наиболее близкой к центру поворота. Этот показатель определяет ширину коридора, необходимую для проезда машины при крутых поворотах. Габаритная полоса характеризует возможность движения машины в проездах.

Габариты машины – предельное очертание машины в транспортном положении (длина с рабочим оборудованием или без него, высота, ширина).

Давление опорных элементов машины на площадку, дорогу – отношение вертикальной нагрузки на опорный элемент (колесо, выносную опору, гусеничную тележку) к площади его опирания на площадку.

Двигатель – машина, преобразующая какой-либо вид энергии в механическую работу.

Дорожный просвет – расстояние от наиболее низко расположенной точки машины до поверхности площадки, дороги.

Исполнение машины – осуществление конструкции на основе использования агрегатов базовой машины, в результате чего изменяются некоторые параметры и конструктивные решения машины.

Использование машины – показатель, характеризующий загрузку машины по производительности и по времени в виде наработки в мото- или машино-часах. Уровень использования машины оценивают в процентах с помощью коэффициентов использования календарного и внутрисменного времени, сменности.

Комплект машин – совокупность согласованно работающих и взаимоувязанных по производительности и другим технологическим параметрам машин, обеспечивающая комплексно-механизированное выполнение какого-либо вида строительно-монтажных работ.

Конструкция – устройство, взаимное расположение частей и состав машины, механизма.

Маневренность – способность машины изменять направление движения на ограниченных площадках при небольших скоростях движения.

Манипулятор – управляемое устройство (машина) для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве, оснащенное рабочим органом.

Марка – обозначение изготовителя на машине.

Машина – механическое устройство с согласованно работающими частями, осуществляющее целесообразные полезные движения для преобразования энергии.

Механизм – совокупность подвижно соединенных звеньев, совершающих под действием приложенных сил определенные полезные движения.

Мобильность – подвижность машины, ее способность и готовность к быстрому преодолению расстояния.

Модель – образец машины, служащей для серийного воспроизведения.

Модернизация машины – комплекс технических мероприятий, имеющих целью улучшение конструктивно-эксплуатационных свойств машины (совершенствование

конструктивных, решений отдельных сборочных единиц, повышение надежности, снижение затрат на техническое обслуживание, улучшение условий работы машиниста и т. п.). При этом основные параметры и конструктивные решения машины (объем рабочего органа, грузоподъемность, тип привода и ходового устройства) остаются без изменения. Модернизация машин осуществляется, как правило, заводом-изготовителем.

Модификация – машина однородная с базовой (типовой), полученной путем ограниченного изменения исходного исполнения машины, но с отличной от нее областью применения.

Модуль – унифицированный узел или часть машины, состоящий из взаимозаменяемого комплекса деталей серийного производства и выполняющий самостоятельную функцию. Различают: кабинный модуль, модуль металлоконструкции башни, стрелы, модуль лебедки, модуль привода, модуль прибора безопасности.

Новые машины – высокоэффективные, конкурентоспособные, соответствующие или превосходящие по своим показателям лучшие мировые достижения, на которые утверждена новая нормативно-техническая документация. К новым машинам относятся высокоэффективные модернизированные машины, соответствующие по своим показателям лучшим мировым достижениям.

Нормокомплект – комплект средств малой механизации, механизированного и ручного инструмента и приспособлений, рассчитанных на выполнение данного вида работ в соответствии с принятой технологией и наиболее высокой производительностью.

Привод – устройство, состоящее из двигателя, передающих механизмов и системы управления для приведения в движение машин и механизмов.

Производительность машины – объем работ, выполненных машиной в единицу времени. Годовая производительность машины определяется ее часовой производительностью и числом часов работы в течение года.

Противовес – груз (бетонный, металлический), уравновешивающий силы и моменты, действующие в машинах.

Проезжимость машины - свойство работать в трудных дорожных условиях и по бездорожью; зависит от числа ведущих осей, осевых нагрузок, удельного давления на грунт, величины дорожного просвета, переднего и заднего углов свеса, размера и типа шин колесных машин.

Рабочее оборудование машины – сменные рабочие органы, несущие конструкции и приспособления, которыми оснащается машина для производства заданного вида работ, операций.

Режим работы машины – распределение календарного времени на рабочее время машины и время перерывов в ее работе. Различают сменные, суточные, годовые режимы. В отдельных случаях могут разрабатываться режимы на другие периоды календарного времени.

Роботизация производственных процессов – способ механизации и автоматизации производства, основанный на применении промышленных роботов и манипуляторов.

Робот промышленный – автоматическая машина, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций.

Сертификация – действия, проводимые с целью подтверждения с необходимой достоверностью соответствия машины стандартам или техническим условиям, и выдача соответствующего документа.

Система машин – совокупность средств механизации, обеспечивающая комплексную механизацию технологических процессов строительно-монтажных работ и предусматривающая перспективное развитие машинооснащения строительства на пятилетний или более длительный период.

Средства механизации – строительные машины общего и специального назначения, оборудование и механизированный инструмент.

Совершенствование машины – улучшение качества выпускаемой машины путем внесения изменений в техническую документацию без изменения основных показателей и взаимозаменяемости с ранее производимой машиной.

Техника – совокупность средств, созданных для осуществления процессов производства. Основная часть технических средств составляет производственную технику, к которой относятся машины, механизмы, инструменты, аппаратура управления машинами.

Технический уровень машины – свойства машины, определяющие степень ее конструктивного совершенства.

Типаж машин – специальный размерный ряд машин, устанавливающий их тип, основные параметры и размеры.

Типоразмер машины – образец машины, главный параметр которого соответствует принятому параметрическому ряду.

Тормозной путь – путь, пройденный от начала торможения до полной остановки машины.

Угол переднего (заднего) свеса – угол между опорной поверхностью площадки (дороги) и плоскостью, касательной к окружности наружного диаметра колеса и проходящей через крайнюю точку передней (задней) части машины.

Установленная мощность – сумма номинальных мощностей двигателей исполнительных механизмов машины.

Устойчивость – свойство машины противостоять опрокидыванию, заносу, скольжению; зависит от расположения центра тяжести, опорного контура, уклона площадки (дороги), инерционных нагрузок, подветренных площадей, рабочих скоростей и их регулирования.

Эксплуатация машины – совокупность процессов по использованию машины в соответствии с ее назначением и осуществлению мероприятий по максимальному сохранению ее свойств, установленных нормативно-технической документацией.

Энерговооруженность труда – показатель, характеризующий энергонасыщенность строительных процессов. Измеряется в киловаттах на 1 рабочего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов Н.А. Курсовое дипломное проектирование по строительно-дорожным машинам. –М.: 1986.
2. Алексеева Т.В., Артемьев К.А. Машины для земляных работ. –М.: Машиностроение, 1996. –502 с.
3. Базанов А.Ф., Забегалов Г.В. Самоходные погрузчики. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 146 с., ил.
4. Баловнев В. И., Зенков Р.Л., Ивашков И. И. Машины для земляных работ. –М.: Машиностроение, 1981. – 343 с.
5. Баловнев В.И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно-строительных машин. –М.: Машиностроение, 1974. –232 с.
6. Волков Д.П., Крикун В.Я. Строительные машины. –М.: 2002. –376 с.
7. Ветров Ю.А., Кархов А.А. и др. Машины для земляных работ. –М.: 1986.
8. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. –М.: Машиностроение, 1971. –360 с.
9. Добронравов С.С., Дронов О. Г. Строительные машины и оборудование: Справочник для строит. спец. вузов и инж.- техн. работников. –М.: Высш. шк., 2006. – 575 с.
10. Домбровский Н.Г., Картвелашвили Ю.Л., Гальперин М.И. Строительные машины. Учебник для вузов. В 2 частях. Ч. 2. –М.: Машиностроение, 1985. –224с.
11. Харкута Н.Я., Капустин М.И. Дорожные машины: Теория, конструкция и расчет. –М.: 1986.
12. Гальперин М.И. Строительные машины. –М.: 1986.
13. Кабашев Р.А. Дорожно-строительные машины: абразивный износ рабочего органа земельных машин. –Алматы. 1997.
14. Кузьмин Э.Н. Строительные машины. –М.: Машиностроение, 1991.–496 с.
15. Проектирование машин для земляных работ /Под ред. А.М. Холодова. –Х.: Вища шк. Харький университет, 1986. –272 с.
16. Векслер В.М., Муха Т.И. Проектирование и расчет перегрузочных машин (погрузчики и виброразгрузчики). –Л.: Машиностроение, 1971. –320 с.

17. Строительные машины и оборудование. Справоч. пособие. /Под ред. *Б.Ф. Белецкого*. –Р-на-Д.: Феникс, 2002. –592 с.
18. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. – М.: Машиностроение, 1989. –386 с.
19. Строительные и дорожные машины. Ежегодный журнал. 2002–2013 гг.
20. Интернет-ресурс <http://www.stroyinform.ru/>

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Обзор развития машин для земляных работ.....	4
1.1. Исторический обзор развития дорожных машин.....	5
1.2. Исследования взаимодействия рабочих органов машин для земляных работ с грунтом.....	8
1.3. Виды земляных сооружений. Способы разработки грунтов.....	13
2. Свойства и классификация грунтов.....	19
2.1. Гранулометрические свойства.....	20
2.2. Характеристики грунтов по трудоемкости разработки.....	27
3. Машины и механизмы для выполнения земляных работ.....	29
3.1. Классификация машин для земляных работ.....	29
3.1.1. Конструктивные решения и область применения.....	29
3.1.2. Машины землеройно-транспортные.....	30
3.1.3. Машины землеройные (циклического и непрерывного действия).....	30
3.1.4. Специальные машины.....	30
3.1.5. Грунтоуплотняющие машины-катки.....	31
3.2. Рабочие органы землеройных машин и их взаимодействие с грунтом.....	32
3.3. Общая классификация машин и оборудования для разработки грунтов.....	38
3.3.1. Расчет погрузчика.....	49
3.3.2. Определение производительности.....	50
3.3.3. Определение рабочего цикла.....	50
3.3.4. Расчет параметров ковша.....	50
3.3.5. Тяговый расчет минипогрузчика.....	52
3.3.6. Определение сопротивления внедрению ковша в материал.....	52
3.3.7. Проверка условия движения минипогрузчика.....	53
4. Одноковшовые экскаваторы. Классификация, технико-экономические параметры.....	55
4.1. Гидравлические экскаваторы. Методы расчета основных технических параметров.....	90

4.1.1.	Выбор нагрузки на ковше экскаватора.....	92
4.1.2.	Ограничение силы Р по условию устойчивости экскаватора.....	93
4.1.3.	Ограничение силы Р по условию сдвига экскаватора.....	94
4.1.4.	Ограничение силы Р по величине давления в запертых гидроцилиндрах.....	94
4.2.	Неполноповоротные экскаваторы.....	113
4.3.	Сменные рабочие органы гидравлических экскаваторов.....	117
4.4.	Экскаваторы с гибкой подвеской рабочего оборудования (канатные экскаваторы).....	127
4.5.	Экскаваторы непрерывного действия...	135
5.	Землеройно-транспортные машины. Классификация. Расчет технико-экономических показателей скреперов.....	150
5.1.	Скреперы. Расчет технико-экономических показателей скреперов	151
5.2.	Бульдозеры. Конструктивные особенности и технико-экономические показатели	165
5.3.	Автогрейдеры. Грейдер-элеваторы. Машины для подготовительных работ.....	180
5.4.	Грейдер-элеваторы.....	188
5.5.	Машины для подготовительных работ.....	189
5.6.	Машины и оборудование для разработки мерзлых грунтов.....	192
5.7.	Бурильные машины.....	198
5.8.	Машины и оборудование для уплотнения грунтов....	208
5.9.	Технические средства гидромеханизации.....	220
	Вопросы и ответы для усвоения материала.....	228
	Глоссарий.....	249
	Библиографический список.....	254

Учебное издание

Сергазы Ахметович Джиенкулов
Баян Токушевна Сазамбаева
Мурат Хусаинович Саргужин
Навиль Тагирович Хадеев

МАШИНЫ ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Учебное пособие

Нач. РО ИИЦ
Редактор
Компьютерная верстка

*З. Губайдулина
Г.М. Дюсенбаева
Д. Тажиева*

Подписано в печать 25.06.2014 г.

Тираж экз. Формат 60x84x 1/16. Бумага типогр. № 1.

Уч.-изд.л. 16,1. Усл. п.л. 14,9. Заказ № . Цена договорная.

Издание Казахского национального технического университета
им. К.И. Сатпаева
Учебно-издательский центр КазНТУ
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

ISBN 978-601-228-630-4

