МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ– МСХА
имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

В.И. Балабанов
Л.А. Журавлева
Н.Б. Мартынова
Х.А. Абдулмажидов
А.А. Макаров

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Учебное пособие

Москва
2026

УДК 621.878/.879(075.8)
ББК 38.623.031Я73
Б20

Рецензенты:

***Голубев И.Г.**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела научно-информационного обеспечения инновационного развития АПК ФГБНУ «Росинформагротех»;*

***Безбородов Ю.Г.**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой землеустройства и лесоводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

Б20 Балабанов В.И., Журавлева Л.А., Мартынова Н.Б., Абдулмажидов Х.А., Макаров А.А. Основы расчета технологических машин природообустройства: учебное пособие. – Москва: Амирит. – 2026. – 130 с.

ISBN 978-5-00279-233-7

Учебное пособие предназначено для организации самостоятельной работы студентов в процессе изучения дисциплин профессионального цикла направления 20.03.02 Природообустройство и водопользование. Содержит методику расчета и обоснование параметров машин для природообустройства и водопользования. Учебное пособие может быть использовано при проектировании, а также молодыми специалистами в своей практической работе.

Б20 Balabanov V.I., Zhuravleva L.A., Martynova N.B., Abdulmazhidov Kh.A., Makarov A.A. Basics of Technological Machine Calculations for Nature Management: a textbook. Moscow: Amirit. – 2026. – 130 p.

ISBN 978-5-00279-233-7

The textbook is intended to facilitate independent work by students in the process of studying disciplines of the professional cycle for the direction 20.03.02 Environmental Engineering and Water Management. It contains a methodology for calculating and justifying the parameters of machines used in environmental engineering and water management. The textbook can be used in design projects, as well as by young specialists in their practical work.

УДК 621.878/.879(075.8)
ББК 38.623.031Я73
© Балабанов В.И., © Журавлева Л.А., © Мартынова Н.Б.,
© Абдулмажидов Х.А., © Макаров А.А., составители, 2026
© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2026

Содержание

Введение 6

1. Цели и задачи 6

2. Назначение природообустройства 6

3. Требования, предъявляемые к машинам природообустройства 8

4. Базовые машины 11

5. Ходовое оборудование 17

6. Грунт как разрабатываемая среда 19

7. Взаимодействие рабочих органов машин с грунтом 20

8. Классификация машин для земляных работ 22

9. Расчет одноковшового экскаватора 23

9.1 Выбор основных параметров 23

9.2 Усилия и скорости в основных механизмах экскаватора 25

9.3 Подъемный и тяговый механизмы драглайна и прямой лопаты 27

9.4 Расчет механизма поворота 28

9.5 Определение максимального ускорения поворотной платформы 28

9.6 Тяговый расчет 30

9.7 Основные составляющие сопротивления движению 30

9.8 Тяговые усилия машины 31

9.9 Уравнения тягового и мощностного балансов 32

9.10 Статический расчет 33

9.11 производительность 35

9.12 Вопросы для самоподготовки 36

10. Расчет экскаваторов непрерывного действия 37

10.1 Расчет производительности 37

10.2 Определение основных конструктивных параметров экскаватора непрерывного действия 38

10.3 Определение рабочих скоростей, общих размеров и массы машины 39

10.4 Тяговый расчет 39

10.5 Баланс мощности экскаваторов непрерывного действия 40

10.6 Статический расчет экскаваторов непрерывного действия 40

10.7 Вопросы для самоподготовки 42

11. Расчет автогрейдера 43

11.1 Определение основных параметров и размеров 43
11.2 Производительность автогрейдера 43
11.3 Особенности рабочего процесса и взаимодействия рабочего органа с грунтом 44
11.4 Тяговые сопротивления и тяговый расчет 45
11.5 Мощность двигателя 47
11.6 Вопросы для самоподготовки 48
12. Расчет бульдозера 48
12.1 Тяговый расчет 49
12.2 Производительность 50
12.3 Определение усилий, действующих на бульдозер. Расчетные положения 51
12.4 Статический расчет 51
12.5 Вопросы для самоподготовки 53
13. Расчет скрепера 54
13.1 Определение основных параметров скрепера 54
13.2 Производительность скреперов 56
13.3 Тяговый расчет скрепера с загрузкой тягачом 57
13.4 Тяговый расчет самоходных одномоторных скреперов 59
13.5 Баланс мощности 60
13.6 Расчет устойчивости 61
13.7 Вопросы для самоподготовки 62
14. Расчет рыхлителя 62
14.1 Тяговый расчет 64
14.2 Производительность рыхлителя 64
14.3 Устойчивость рыхлителя 65
14.4 Вопросы для самоподготовки 65
15. Расчет машин для гидромеханизации 65
15.1 Расчет земснаряда 65
15.2 Расчет гидромонитора 68
15.3 Вопросы для самоподготовки 75
16. Расчет двухфрезерного каналокопателя 76
16.1 Расчет основных параметров 76
16.2 Расчет мощности на привод рабочего органа и действующих сил 81

16.3 Вопросы для самоподготовки 84
17. Расчет дренажно-кротовой машины 85
17.1 Расчет основных параметров машины 85
17.2 Тяговый расчет 86
17.3 Вопросы для самоподготовки 88
18. Расчет каналоочистителей непрерывного действия 89
18.1 Расчет каналоочистителей с цепным рабочим органом 89
18.2 Расчет каналоочистителей с фрезерным рабочим органом 94
18.3 Расчет каналоочистителей с шнековым рабочим органом 99
18.4 Вопросы для самоподготовки 101
19. Расчет машин для производства культуртехнических работ 101
19.1 Расчет машин для очистки территорий от кустарника 101
19.2 Расчет машин для корчевания древесно-кустарниковой растительности и пней 108
19.3 Расчет машин для сплошного удаления растительности 113
19.4 Расчет машин для расчистки территорий от камней 117
19.5 Вопросы для самоподготовки 120
20. Расчет машин для орошения 121
20.1 Технологические показатели дождевания 121
20.2 Вопросы для самоподготовки 128
Библиографический список 129

Введение.

Современные условия хозяйствования ставят задачей обучение и воспитание специалистов нового поколения, инженерно-техническая деятельность которых направлена на рациональное, экологически безвредное использование земельных и водных ресурсов, придания их компонентам новых свойств, повышающих ценность природной среды, осуществление ее охраны. Для этой цели вопросы создания машин для проведения работ по природообустройству должны рассматриваться с точки зрения одновременной разработки земель с целью природопользования и ее охраны, восстановления природных ресурсов, минимизации техногенного воздействия. Поэтому конструктивные и технологические требования к созданию машин природообустройства значительно усложняются, что, в свою очередь, отражается на проведении проектных расчетов машин природообустройства.

1. Цель и задачи

Целью учебно – методического пособия по изучению машин и оборудования природообустройства является расчет конструктивных и технологических параметров машин и оборудования природообустройства, а также технологий при выполнении ими земляных работ максимально экологичным способом.

Задачами учебно – методического пособия являются:

• изучение конструкций машин и оборудования для производства строительных и мелиоративных работ;

• овладение комплексами расчётов для определения конструктивных и технологических параметров машин природообустройства;

• подготовка специалистов, творчески реализовывающих свои знания в практической деятельности.

2. Назначение природообустройства.

Природообустройство призвано повышать эффективность природопользования, восстанавливать нарушенные природные объекты, защищать человека и природу от стихийных бедствий. Оно включает:

– *мелиорации земель* разного назначения: сельскохозяйственных, водного и лесного фондов, поселений, промышленности, транспорта, связи, а также историко-культурного, научного, рекреационного, оздоровительного и оборонного назначения;

– *рекультивацию земель* – восстановление свойств компонентов природы и самих компонентов, нарушенных человеком или загрязненных в процессе природопользования.

Все вышеперечисленное объединяет полный комплекс горнотехнических, инженерно-строительных, мелиоративных, сельскохозяйственных, лесокультурных, озеленительных работ, направленных на восстановление продуктивности и ценности нарушенных и отработанных земель, улучшения экологического состояния окружающей природной среды;

–*природоохранное обустройство территорий*: борьба с водной и ветровой эрозией, восстановление естественной гидрографической сети, водоохранных зон. Включает оно и защиту от природных стихий – наводнений, затоплений, потоплений, размыва берегов, оползней и селей.

Природообустройство – это особый вид деятельности, отличающийся от природопользования. Глубоко вмешиваясь в природные процессы, оно вызывает изменение в развитии и функционировании природных систем, сопровождающихся расходованием большого количества материальных, энергетических, трудовых и денежных ресурсов.

Отличие природообустройства от природопользования заключается также в объекте и средстве труда. При природообустройстве важно четко обозначить объект трудовой деятельности, что имеет не только методологическое, но и практическое значение.

Так, человек, проведя на реке дноуглубительные работы, с целью сделать ее судоходной, не только изменил уровень воды на отдельном участке реки, но и

повлиял на прилегающие земли, подтопив их, изменил температурный режим воды в реке и пр. Значит необходимо рассматривать целостные геосистемы, из которых состоят обустраиваемые земли.

Объектом природообустройства, таким образом, должна быть такая геосистема, в пределах которой непосредственно проявляются осуществляемые преобразования для конкретного природопользования.

При проведении преобразований необходимо учитывать межсистемные связи, отслеживая ближние и дальние последствия природообустройства на соседние геосистемы.

Природообустройство – важный элемент национальной безопасности страны, характеризующий состояние защищенности здоровья, жизни, прав человека, интересов и ценностей общества и государства от различных ущербов.

3. Требования, предъявляемые к машинам природообустройства.

Машины, используемые для выполнения работ по природообустройству и защите в чрезвычайных ситуациях, должны обеспечивать необходимую производительность, перемещаться по дорогам с покрытием и без него в любое время года с различными погодными условиями и быть экологически безопасными.

Требования, предъявляемые к этим машинам, можно подразделить на конструктивные, технологические, эксплуатационные, экономические, патентно-правовые и социальные.

Конструктивные требования сводятся к тому, что машина при заданных условиях работы должна выполнять определенные функции и соответствовать современным стандартам. Она должна также быть на уровне лучших отечественных и зарубежных образцов, отличаться прочностью и надежностью в работе, быть высокопроизводительной.

Технологические требования предусматривают простоту, удобство, низкую стоимость изготовляемых деталей и их сборки (с использованием

прогрессивных технологий), а также машины в целом. Ремонтная технологичность (ремонтопригодность) машины предусматривает удобство замены узлов и агрегатов, унификацию и иные вопросы организации ремонта. Унификация оборудования способствует широкому кооперированию и облегчает поставку запасных частей.

Эксплуатационные требования предусматривают исключение затруднений при техническом обслуживании (смазывание, регулировка, заправка и т.д.) и монтажно-демонтажных работах при замене деталей, сборочных единиц и агрегатов. При эксплуатации машин и иной техники необходимо предусматривать вопросы, связанные с защитой в чрезвычайных ситуациях.

Экономические требования включают снижение стоимости самой машины, ее эксплуатации и стоимости единицы вырабатываемой продукции, ее экономической себестоимости.

Патентно-правовые требования предусматривают чистоту (оригинальные решения в конструировании машины) и защиту (заявки на изобретения и патенты) машин, являются важнейшими критериями для определения их конкурентоспособности на внутреннем и зарубежных рынках.

Социальные требования включают безопасность труда при эксплуатации машины (водителя, оператора), удобство ее управления и обслуживания, а также автоматизацию процессов управления и контроля.

Решение этих задач тесно связано с выполнением эргономических требований к конструкциям машин. *Эргономика* (от греч. ergon– работа, monos– закон) – это наука, занимающаяся проблемами взаимодействия человека с машиной и окружающей средой в трудовом процессе. Ее основная цель – создания для человека условий, обеспечивающих безопасность для его здоровья при высокой производительности труда.

Современная машина должна удовлетворять требованиям санитарных норм по уровню вибрации, шума, загазованности рабочего места водителя. Необходимо наличие легкого механизированного или автоматического

управления, удобного, мягкого и регулируемого сидения и устройства безопасности при ударах и опрокидывании машины.

Машина должна обеспечивать хороший обзор фронта работ с места водителя, а также достаточную освещенность рабочих органов и объекта работы в ночное время. Машинист должен видеть дорогу перед машиной на расстоянии 3 м при угле обзора вперед не менее 220°.

Кабина должна быть оснащена приточно-вытяжной вентиляцией с фильтрами для очистки воздуха от пыли, защитой всех окон от пыли, грязи, дождя, снега и пр., противосолнечными козырьками, зеркалами бокового и заднего вида. Необходимо наличие обогрева в холодное время суток и года, огнетушителя, вещевого ящика, термоса для воды, индивидуальной аптечки и вешалки для одежды водителя. Для работы в условиях жаркого и тропического климата кабину оборудуют кондиционером.

К работам в городских условиях к машинам предъявляются повышенные требования:

– *маневренность* – способность машин работать в стесненных условиях, что зависит от ее габаритов и радиусов ее поворотов;

– *мобильность* – свойство, которое зависит от способности машины быстро перемещаться от объекта к объекту и времени, затрачиваемого перевод машины из транспортного в рабочее положение и обратно;

– *устойчивость* – способность машины противостоять действию опрокидывающих ее сил: она – чем ниже центр тяжести, тем она устойчивее. Это особенно важно при движении на подъемах, спусках и косогорах;

– *надежность* – свойство, обусловленное безотказностью и долговечностью машины;

– *безотказность* – свойство машины, позволяющее ей непрерывно сохранять рабочее состояние без вынужденных перерывов в работе;

– *долговечность* – сохранение работоспособного состояния до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;

– *работоспособность* – способность выполнять работу в течение заданного срока службы;

– *ремонтопригодность* - приспособленность машины к предупреждению, обнаружению и устранению неисправностей посредством технического обслуживания и ремонта. Унификация узлов и деталей машины снижает ее себестоимость и улучшает качество ремонта;

- *унификация* – рациональное сокращение числа объектов одинакового функционального назначения;

агрегатирование – метод компоновки машин из унифицированных изделий;

– *сохраняемость* – исправность и работоспособность машины в течение и после срока хранения и транспортирования.

4. Базовые машины.

Большая часть машин, используемых для природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях, представляет собой специализированное оборудование, смонтированное на базе грузовых автомобилей, тракторов, самоходных шасси, тягачей.

Грузовые автомобили по назначению подразделяются на автомобили общего назначения, автомобили-самосвалы и специализированные.

По грузоподъемности они бывают: малой – 0,75-2,00 т, средней – 2,5-5,0, большой – 5-10, особо большой – свыше 10 т грузоподъемности.

На автомобилях устанавливают бензиновые, дизельные и газотурбинные двигатели, последние – на автомобилях с наиболее высокой грузоподъемностью.

Основным параметром автомобиля, определяющим конструкцию его основных узлов, является нагрузка на ведущий мост. Для дорог с обычным и усовершенствованным покрытием нагрузка на ось составляет 60 и 100 кН соответственно.

Для обозначения грузовых автомобилей используют колесную формулу, включающую две цифры первая – количество колес, вторая – ведущих колес

(двойные скаты считают за одно колесо). Формула у обычного грузового автомобиля 4 х 2, трехосного с двумя ведущими осями – 6 х 4, трехосного с тремя ведущими – 6 х 6.

Автомобили общего назначения – это грузовые автомобили с кузовом в виде открытой платформы с бортами, автомобили с повышенной проходимостью со всеми ведущими колесами и автомобили-тягачи, оборудованные прицепами, полуприцепами.

Эксплуатируемые всесезонно и при любой погоде грузовые машины отличаются повышенной проходимостью. Они имеют два (передний и задний) или три (передний и два задних) ведущих моста.

Увеличение числа ведущих осей повышает проходимость машины, но усложняет конструкцию, повышает массу и стоимость автомобиля.

Механизмы управления автомобиля включают рулевое управление и тормозную систему. На тяжелых машинах в управлении используют гидроусилители, снижающие усилие на рулевом колесе. Тормозная – служит для принудительного снижения скорости движения автомобиля и удержания его на месте на уклоне.

Отечественные бортовые автомобили имеют грузоподъемность 0,8-14,5 т при мощности двигателя 55…220 кВт.

Седельные автотягачи могут работать с полуприцепами грузоподъемностью 4…25т. Повышение грузоподъемности за счет полуприцепов увеличивает длину и значительно снижает маневренность автомобиля. Однако использовать полуприцепы выгодно при хороших погодных условиях и длинных перегонах.

В городском хозяйстве широко распространены автомобили-самосвалы, изготовляемые на базе автомобилей общего назначения. Они используются для перевозки камня, бетона, грунта, строительного мусора и иных материалов, не повреждающихся при разгрузке сбрасыванием. Разгружается кузов чаще всего наклоном назад до 60^0.

Специализированные автомобили, изготовленные на базе грузовых машин общего назначения, отличаются от них только устройством кузова, приспособлениями для размещения транспортируемых материалов и оборудованием для выполнения определенных производственных операций. К специализированным относят автомобили для перевозки технологического оборудования и различных машин (тяжеловозы), тарных и мелкоштучных грузов (контейнеровозы), жидких и полужидких веществ.

Основными достоинствами автомобильного транспорта являются высокие скорости, маневренность, универсальность использования.

Тракторы используют как базовые средства прицепных, полуприцепных и навесных машин. Их подразделяют на гусеничные и колесные (пневмоколесные), общего и промышленного назначения.

Гусеничные тракторы общего назначения преимущественно рассчитаны на крюковую тягу при работе машин природообустройства. Они обладают большой проходимостью и приспособлены для длительной работы в режиме малых скоростей с навесным оборудованием и максимальным тяговым усилием. Их рама и ходовая часть рассчитаны на тяжелое навесное оборудование (табл. 4.1).

Гусеничные тракторы меньше пробуксовывают, особенно на влажных почвах, у них значительно больше площадь контакта с грунтом. Они обеспечивают возможность более раннего и более позднего проведения соответственно весенних и осенних полевых работ, которые невозможно выполнить колесными тракторами. Элементы ходовых систем гусеничных тракторов, оснащенных более эластичными резиноармированными гусеницами, лучше гасят колебания от неровностей почвы, что повышает плавность хода машин.

Таблица 4.1

Техническая характеристика гусеничных отечественных тракторов

Марка трактора	ДТ-75 ВгТЗ	Агромаш 90ТГ ВгТЗ	Агро-маш 150ТГ ВгТЗ	Т10М ЧТЗ	Т-9. 01Я ЧЕТРА	Т-15. 02Я ЧЕТРА	Т-20. 02Я ЧЕТРА	Т-35. 01Я ЧЕТРА
Тяговый класс	3	3	3	10	11	15	20	35
Длина, мм	4700	4700	5000	4210	4260	4520	4811	5670
Ширина, мм	1850	1850	1850	2480	2340	2640	2696	3281
Высота, мм	2700	2990	2600	3250	3402	3812	3885	4361
Масса, кг	6750	7250	8500	16100	18885	28300	36518	62330
Продольная база, мм	1612	1612	1612	2880	2470	2865	3070	3525
Колея, мм	1330	1330	1330	1880	1780	2000	2100	2500
Диапазон скоростей, км/ч	5,3-11,2	5,3-11,17	7,2-17,3	2,58-10,4	3,8-11,1	3,9-11,1	3,8-10,9	4,4-13,0
Марка двигателя	Д-245. 5S2	А-41СИ-02	Д-442-16 (АМЗ)	ЯМЗ 236 НЕ2-51	ЯМЗ 236 НБ2	ЯМЗ 238 НД7-1	ЯМЗ 238 ДЕ2-28	ЯМЗ-850.10
Частота вращения, $с^{-1}$	1800	1750	2000	1500	1900	1700	2100	1900
Мощность, кВт	70	75	95,5	132	121	184	243	412
Удельный расход топлива, г/кВт·ч	226,6	245	220	223	238	230	230	238
Частота вращения вала отбора мощности, $с^{-1}$	540 или 1000	540	540	540	540	540	540	540
Ширина гусениц, мм	390	390	400	500	560	560	560	650
Среднее давление на почву, кПа	50	50	45	76	69	87	96	137
Дорожный просвет, мм	370	370	370	370	460	490	530	658

Пневмоколесные тракторы, в сравнении с гусеничными, имеют большую (до 40 км/ч) скорость передвижения, высокую мобильность и маневренность, в 2 раза меньшую металлоемкость и больший срок службы.

Однако они уступают по силе тяги и проходимости из-за относительно высокого удельного давления на грунт (0,2-0,4 МПа).

Преимущества колесных тракторов в их универсальности. Они мобильны, в зависимости от модели могут эксплуатироваться в стесненных обстоятельствах и поэтому являются незаменимыми в городских условиях и на частных фермах. Основными достоинствами колесных тракторов являются:

- возможность использования в ограниченных пространствах;
- мобильность;
- легкость в эксплуатации;
- удобный доступ ко всем важным деталям для профилактики, ремонта или замены;
- многофункциональность;
- большой выбор различных моделей и модификаций;
- возможность замены или добавления дополнительного оборудования.

Основные узлы гусеничных и пневмоколесных тракторов – рама, двигатель, трансмиссия, ходовая часть, система управления. Тракторы комплектуют гидравлической системой для привода навесного или прицепного рабочего оборудования, преимущественно используют дизельные двигатели (табл. 4.2).

Пневмоколесные тягачи и самоходные шасси используют при работе с различными видами специального навесного, прицепного строительного, коммунального и лесохозяйственного оборудования. Они обладают высокой тяговой характеристикой (до 300 кН), большим диапазоном рабочих и транспортных (до 50 км/ч) скоростей, большой маневренностью. Мощность двигателей – 900 кВт. Тягачи бывают одно- и двухосные.

Таблица 4.2

Техническая характеристика колесных отечественных и белорусских тракторов

Марка трактора	Агро-маш Т30-70 ВТЗ	Агро-маш 85ТК ВТЗ	BE-LA-RUS-80.1 MTW	BE-LA-RUS-1523 MTW	КИРО-ВЕЦ К424 «Пре-миум» ПТЗ	КИРО-ВЕЦ К-742 «Стан-дарт» ПТЗ	320 Рост-сель-маш	ТК-25.02Я ЧЕТРА
Тяговый класс	0,6	1,4	1,4	3	4	8	15	25
Длина, мм	3180	3900	3840	4710	6960	7350	6401	9070
Ширина, мм	1560	1800	1970	2250	2540	2875	2540	5100
Высота, мм	2480	2600	2780	3000	3505	3876	3353	4879
Масса, кг	2020	3800	3770	6000	10300	16630	10861	46518
Продольная база, мм	1775	2450	2370	2850	3190	3750	3165	4150
Колея передних колес, мм	1500	1500-1700	1350-1850	1610	1930	2100	1524-2235	2800
Колея задних колес, мм	1500	1400-1800	1400-2100	1800	1930	2100	1524-3353	2800
Диапазон скоростей, км/ч	1,52-23,86	1,52-15,5	1,9-34,3	1,73-36,3	1,52-40,0	1,52-40,0	3,9-11,1	7,8-27,3
Марка двигателя	Д-120	Д-145 ТВ	Д-243	Д-260.1	ЯМЗ-53625	8481.10-04 (ТМЗ)	Cum-mins QSC 8.3	ЯМЗ-850.10-01
Мощность, кВт	22,1	62,5	59,6	109	176	309	272	412
Удельный расход топлива, г/кВт·ч	180	241	235	227	197	213	227	238
Частота вращения вала отбора мощности, $с^{-1}$	540	540 или 1000	540 или 1000	540 или 1000	540 или 1000	540 или 1000	540 или 1000	540 или 1000
Дорожный просвет, мм	345	380	645	380	530	500	490	500

Самоходные шасси отличаются от пневмоколесных тягачей тем, что мощность их двигателя почти полностью расходуется на привод рабочих органов машины и управление ими и лишь незначительная часть – на тяговое

(толкающее) усилие. На самоходное шасси монтируют оборудование погрузчиков, одноковшовых экскаваторов, кранов и др.

5. Ходовое оборудование.

Ходовое оборудование машин состоит из механизма передвижения и опорных рам, основными задачами которых являются передвижение машин на рабочих и транспортных скоростях, передача на опорную поверхность нагрузки от силы тяжести машины и внешних воздействий, обеспечение ее устойчивости.

По типу ходовое оборудование различается: гусеничное, пневмоколесное, жесткое колесное (рельсовое и безрельсовое), на воздушной подушке.

Используемые для природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях, самоходные машины, обычно имеют гусеничное и пневмоколесное ходовое оборудование. Их проходимость зависит от типа и состояния, клиренса, удельного давления на поверхность качения, у машин на колесном ходу – также от числа, расположения и диаметра колес.

Гусеничный ход широко распространен на часто передвигающихся по бездорожью тракторах, что связано с их высокой проходимостью и малым удельным давлением на почву – 0,04…0,10 МПа.

Гусеничный ход состоит из замкнутой гусеничной ленты, натянутой между приводным и натяжным колесами гусеничной опорной рамы, оборудованной опорными и поддерживающими катками. Гусеничные рамы крепятся к ходовой, с которой при помощи опорно-поворотного устройства соединена поворотная платформа машины.

Привод гусениц индивидуальный от гидромоторов через бортовые зубчатые передачи. Жидкость от установленных на платформе гидронасосов поступает к нормально замкнутым тормозам и гидромоторам через вращающиеся соединения и трубопроводы.

Гусеничная лента состоит из отдельных литых или штампованных звеньев (траков), соединенных шарнирно пальцами. Для ее натяжения ось ведомого

колеса крепится в ползунах, перемещающихся по направлению гусеничной рамы.

В зависимости от способа крепления опорных катков гусеницы бывают жесткими (оси катков прикреплены к гусеничной раме жестко) и мягкими (оси катков подрессорены). Мягкие гусеницы сложнее в изготовлении и эксплуатации, но они лучше приспособлены к неровностям поверхности.

Пневмоколесный ход обеспечивает машинам хорошее маневрирование, достаточную устойчивость, высокие скорости передвижения (до 60 км/час), легче гусеничного на 25…35%, имеет высокий КПД (0,8…0,85) и большой ресурс работы (до 40тыс. км вместо 1.5…2 тыс. км по сравнению с гусеничным ходом). Однако проходимость машин на пневмоколесном ходу значительно хуже гусеничных (табл. 5.1).

Колесный ход имеет и другие недостатки. К ним можно отнести недостаточную устойчивость на крутых склонах и в зыбучих песках, в связи с этим такие машины используют на равнинной местности на достаточно прочных грунтах.

Таблица 5.1

Значения коэффициентов сопротивления передвижению и сцепления

Грунт	Коэффициенты сопротивления передвижению $f_м$			Коэффициент сцепления $k_{сц}$	
	гусеничные машины	колесные машины	лыжи	гусеничные машины	колесные машины
Торфяное болото	0,1-0,3	0,2-0,3	0,7-0,9	0,15-0,9	0,1-0,6
Песок	0,1-0,15	0,16-0,2	0,4-0,6	0,4-0,5	0,3-0,4
Супесь	0,07-0,12	0,04-0,18	0,4-0,6	0,6-1,0	0,4-0,7
Суглинок	0,08-0,15	0,12-0,2	0,4-0,7	0,7-0,8	0,5-0,7
Суглинок тяжелый и глины	0,07-0,15	0,03-0,2	0,4-0,7	0,9-1,0	0,7-0,8
Стерня	0,08-0,09	0,07-0,1	-	0,7-0,9	0,6-0,7
Луг влажный, скошенный, залеж	0,07-0,08	0,09-0,1	-	0,8-0,9	0,6-0,7
Свежевспаханное поле	0,1-0,12	0,17-0,18	-	0,6-0,8	0,4-0,5

6. Грунт как разрабатываемая среда.

Все рыхлые горные породы, образовавшиеся из изверженных осадочных или метаморфических горных пород и применяемые в строительном или дорожном деле, называются грунтами. При разработке грунта землеройно-транспортные машины по-разному взаимодействуют с ним: отделяют его от массива, уплотняют катками или колесами. Гусеницы и протекторы на колесах тракторов взаимодействуют с грунтом, повышая тяговое усилие машины по сцепному весу.

Грунт состоит из трех основных фаз: твердой (минеральных частиц, образующих грунтовый скелет), жидкой (воды, частично или полностью заполняющей поры грунта) и газообразной (воздуха). При промерзании грунта к этим трем основным фазам, образующим грунт, добавляется лед. Грунт представляет собой гигроскопический материал, поглощающий воду из паров воздуха. Основными составляющими элементами грунта являются песок и глина.

Пески малосвязаны, водопроницаемы, малосжимаемы, непластичны при высыхании, не уменьшаются в объеме и легко размываются. Глины отличаются от песков противоположными перечисленными свойствами. К грунтам смешанного происхождения следует отнести супеси и суглинки.

Частицы грунта, размер которых занимает среднее положение между песчаными и глинистыми, носят название пылеватых. Пылеватые грунты при увлажнении переходят в состояние плывунов и резко снижают прочностные свойства. Частицы, составляющие грунты, принято классифицировать по их крупности. Ориентировочное представление о типе грунта можно получить по числу содержащихся в нем глинистых фракций.

Грунты, делятся на песчаные, супеси, суглинки, глины. Грунты, отличаются также объемом пор, влажностью и температурой (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Основные свойства грунтов

Показатели	Обозначение	Грунт						
		болотно-торфяной	песок	супесь	суглинок	тяжелый суглинок	глина	тяжелая глина
Коэффициент разрыхления	$k_р$	1,2-1,3	1,08-1,17	1,1-1,2	1,14-1,28	1,24-1,32	1,24-1,3	1,26-1,32
Показатель плотномера ДорНИИ	$С_{уд}$	1-5	1-4	3-12	5-10	9-18	14-19	18-24
Плотность, кг/м^3	ρ	600-1200	1500-1700	1500-1900	1600-1750	1750-1900	1800-1900	1900-2000
Коэффициент трения грунта по грунту	$f_г$	0,9-1,0	0,4-0,7	0,4-0,7	0,7-0,8	0,7-0,8	0,8-1,0	0,8-1,0
Коэффициент трения грунта по металлу	f	0,1-0,5	0,4-0,5	0,4-0,5	0,5-0,6	0,5-0,6	0,6-0,7	0,6-0,7

7. Взаимодействие рабочих органов машин с грунтом.

Рабочие органы, с помощью которых грунт отделяют от массива (ковши, отвалы, зубья) называют землеройными. Землеройные рабочие органы бывают ковшовыми, отвальными, ножевыми.

Рабочий процесс землеройных машин с ковшовыми и отвальными рабочими органами состоит из последовательно выполняемых операций отделения грунта от массива, его перемещения и отсыпки. Раб органы отделяют грунт от массива резанием и копанием. Резание - процесс отделения грунта от массива режущей частью раб органа. Копание — совокупность процессов, включающих резание грунта, перемещение срезанного грунта по рабочему органу и впереди его в виде призмы волочения, а у некоторых машин и перемещение грунта внутри рабочего органа. Сопротивление грунта копанию в

1,5...2,8 раза больше, чем сопротивление грунта резанию. Рабочий орган землеройных машин, как правило, имеет форму заостренного клина (рис. 7.1).

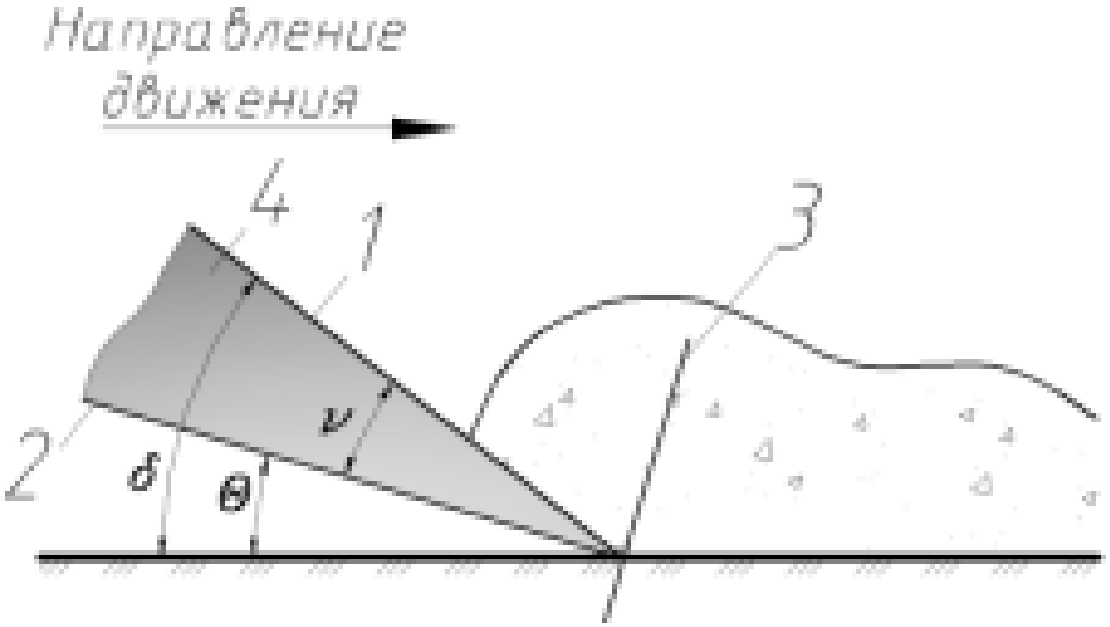


Рис. 7.1 **Параметры режущего клина**: 1 – передняя грань, 2 – задняя грань, 3 – режущая кромка, 4 – заостренный клин.

Режущая часть заостренного клина, ограниченного передней 1 и задней 2 гранями, линию пересечения которых 3 называется режущей кромкой. Угол δ, образуемый с направлением движения клина его передней гранью, называется углом резания, а ν – углом заострения. Угол Θ, образующий с тем же направлением задней гранью - задним углом. Усилие, с которым клин воздействует на грунт называют усилием капания, а равные ему по модулю, но противоположно направленные усилия - сопротивления грунта копанию (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Значения коэффициента удельного сопротивления копанию грунта

Группа грунтов	Число ударов плотномера ДорНИИ, $C_{уд}$	k_1, кПа	
		без обрушения	с обрушением
1	4	60-65	40-48
2	8	118-130	75-85
3	15	195-200	135-140
4	24	300-310	205-210

8. Классификация машин для земляных работ.

При производстве земляных работ используются различные по своему устройству, принципу действия машины, которые классифицируются в зависимости от следующих пунктов:

- назначения - для определенных видов подготовительных, вспомогательных, основных или специальных работ;
- вида привода - внутреннего сгорания, электрического, гидравлического или комбинированного;
- количества двигателей в механизме;
- мощности разной величины;
- типа ходовой части: гусеничной, шагающей, рельсовой, пневмоколесной;
- климатического исполнения для северного, тропического или умеренного климата;
- воздействия на грунт – периодического или непрерывного.

Оборудованием, выполняющими вспомогательные и подготовительные операции, являются приспособления для гусеничных или колесных тракторов: разрыхлители, корчеватели пней, кусторезы.

Для уплотнения грунтов статическим воздействием применяются различные катки. Прицепные катки имеют два дышла для обеспечения движения по насыпи челночным способом. Ударное действие может осуществляться электрическими или пневматическими трамбовками.

Для основных землеройных работ используются одноковшовые экскаваторы, имеющие сменное рабочее оборудование, погрузчики грунта. Землеройно-транспортные машины предназначены не только для забора грунта, но и его перемещения. К ним относятся: скреперы, бульдозеры, грейдеры.

Специальные земляные работы осуществляются с помощью буровых машин, сваезабивных машин, дизель - молотов, кабелеукладчиков, оснащения для прокладывания труб. Средствами гидромеханизации являются

гидромониторы, земснаряды, которые подразделяются на землесосные, черпаковые, скалодробильные.

9. Расчет одноковшового экскаватора.

Расчет одноковшовых экскаваторов заключается в определении основных геометрических параметров машины, усилий и скоростей в рабочем оборудовании, производительности. Тяговый и мощностной расчеты. Определение устойчивости (статический расчет) экскаватора.

9.1 Выбор основных параметров

При выборе исходных данных для проектирования одноковшового экскаватора заданными величинами являются вместимость ковша, грузоподъемность при крановом оборудовании. Выбор основных размеров, параметров рабочего оборудования, удельного давления на грунт, скоростей передвижения и т. п. следует согласовать с данными стандарта, с учетом новейших достижений, что может потребовать некоторой корректировки.

Искомыми величинами при проектировании являются:

1) веса основных элементов и машины в целом;
2) рабочие размеры и размеры рабочего оборудования;
3) усилия, скорости и мощности привода отдельных механизмов.

Большая часть основных параметров одноковшовых экскаваторов может быть определена по зависимостям, основывающимся на законах подобия. При этом следует иметь в виду, что получаемые результаты будут тем больше соответствовать действительным значениям, чем ближе условия и режимы работы, а также рабочие процессы и конструктивные схемы сопоставляемых моделей машины.

К основным и исходным параметрам одноковшовых экскаваторов относятся продолжительность цикла и радиус действия ковша. Рабочие габаритные размеры экскаваторов вычисляют обычно по зависимостям подобия типа:

$$A = k_P \cdot \sqrt[3]{G}, \qquad (9.1)$$

где A — линейный размер, м; G — масса машины, т; k_P —коэффициент.

Мощность силовой установки, величина усилий, рабочие скорости и время протекания отдельных процессов приближенно могут быть определены по следующим зависимостям.

Усилия:

$$S = k_y \cdot \sqrt[3]{G^2}, \quad (9.2)$$

где k_y — коэффициент усилий.

Скорость рабочих движений:

$$v = k_V \cdot \sqrt[3]{G}, \quad (9.3)$$

где: k_v — коэффициент скорости.

Продолжительность цикла или элемента цикла:

$$t = k_ц \cdot \sqrt[5]{G} \quad (9.4)$$

или

$$t = k_ц \cdot \sqrt{R} \quad (9.5)$$

Где: R — радиус действия, м; $К_ц$ — коэффициент цикла.

Мощность силовой установки:

$$N = k_N G \quad (9.6)$$

где: k_N — коэффициент мощности.

Значения входящих в формулы коэффициентов устанавливаются обычно на основании статистических данных для близких по конструктивной схеме и по рабочим процессам машин. Для приближенных расчетов значений параметров и веса отдельных элементов одноковшовых экскаваторов могут быть приняты следующие соотношения.

Вес ковша прямой лопаты, обратной лопаты, драглайна:

$$G_K = 1.8 \cdot V \quad (9.7)$$

где V — емкость (вместимость, геометрический объем) ковша, $м^3$.

Вес рукояти прямой лопаты:

$$G_Р = (0{,}4 \ldots 0{,}5)\ G_K, \quad (9.8)$$

где G_K — вес ковша;

Вес стрелы лопаты универсальных строительных карьерных и вскрышных экскаваторов:

$G_{с.л.}$ = (0,07 … 0,1) G (9.9)

где: G — вес машины.

Вес стрелы драглайна:

$G_{с.д.}$ = (0,06 … 0,09) G (9.10)

Вес рабочего оборудования лопаты:

$G_{л}$ = (0,14 … 0,18) G (9.11)

Вес поворотной платформы:

$G_{пов}$ = (0,5 … 0,6) G (9.12)

Вес гусеничного хода вместе с нижней рамой:

$G_{гус}$ = (0,3 … 0,4) G (9.13)

Для справок (при необходимости выполнения уточненных расчетов для проектирования экскаваторного или иного стрелового оборудования машин природообустройства) приводится значения весов отдельных элементов рабочего оборудования различных моделей универсальных экскаваторов.

9.2. Усилия и скорости в основных механизмах экскаватора

Подъемный и напорный механизмы прямой лопаты. Подъемное усилие на блоке ковша в процессе копания, равно:

$$S_n = \frac{1}{r_n}(P_{01} r_K + g_P r_P + g_{к+г} r_г) \quad (9.14)$$

где r_n – плечо усилия подъёма $S_П$; r_K – плечо силы сопротивления грунта копанию P_{01}; r_P – плечо силы тяжести рукояти g_P; $r_г$ – плечо силы тяжести ковша с грунтом $g_{к+г}$.

Скорость на блоке ковша прямой лопаты при стандартном оборудовании принимается в зависимости от емкости ковша экскаватора (табл. 9.1.).

Таблица 9.1

Скорости на блоке ковша

Ёмкость ковша q, м^3	0,25-0,5	1,0-1,5	2-3	4-6	12
Скорость на блоке ковша υ, м/с	0,5	0,6	0,8	1	1,25

Средняя скорость напорного движения принимается в пределах:

$$\upsilon_н = (0{,}5 \dots 1{,}0)\,\upsilon_K \qquad (9.15)$$

где υ_K — скорость подъема ковша, м/с.

Средняя скорость возврата рукояти обычно равна

$$\upsilon_{возвр} = (1.3 \dots 1{,}5)\,\upsilon_Н \qquad (9.16)$$

При зависимом напорном механизме для сохранения скорости подъема ковша $\upsilon_к$ необходимо увеличить скорость движения подъемного каната:

$$v = 2v_K + v_K^{'} \qquad (9.17)$$

При зависимом реечном напоре:

$$v_K^{'} = v_P \frac{D_{б.н}}{D_{н.о}} \qquad (9.18)$$

При зависимом канатном напоре:

$$v_K^{'} = v_P \cdot i \qquad (9.19)$$

где $\upsilon_р$ — скорость выдвижения рукояти, м/с; $D_{б.н}$ — диаметр напорного барабана, м; $D_{н.о}$ — диаметр начальной окружности шестерни, передающей усилие на рейку рукояти, м; i — кратность напорного полиспаста.

Максимальное значение подъемного усилия при использовании всей мощности на подъем составляет:

$$Sn_{nmax} \qquad (9.20)$$

Мощность механизма подъема:

$$N_n = \frac{S_n \cdot v_n}{102\eta_n} \qquad (9.21)$$

где: $\eta_п$ — к. п. д. механизма подъема, $\eta_п$ = 0,64 … 0,65.

Усилие напора вдоль рукояти при ее горизонтальном положении определяется из уравнения:

$$S_{н.а} = P_{02} + S_n \cos\beta \pm g_{к+г+р} \sin(\phi - \alpha) \qquad (9.22)$$

где $g_{к+г+р}$ — вес ковша с грунтом и частью веса рукояти.

Усилие, направленное перпендикулярно оси рукояти:

$$S_H = P_{01} + g_{к+г+р}\, cos(\phi - \alpha) - S_n \sin\beta \qquad (9.23)$$

Эти усилия можно также определить графически.

9.3. Подъемный и тяговый механизмы драглайна и прямой лопаты

Максимальное тяговое усилие при работе драглайна определяется из формулы при предельном угле откоса α=45°.

Усилие в подъемном канате при работе драглайна:

$S_n = (0{,}7 \ldots 0{,}8)\ S$ (9.24)

Скорости тягового каната и подъема ковша принимаются для универсальных экскаваторов $\upsilon_T = 0{,}7 \ldots 0{,}9$ м/с; $\upsilon_n = 0{,}8 \ldots 1{,}2$ м/с;

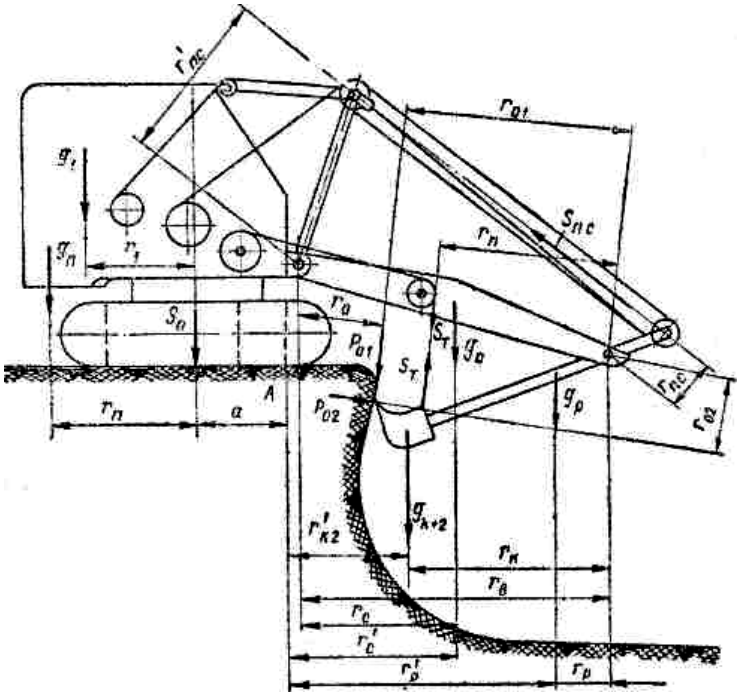


Рис. 9.1 **Определение усилий при работе с рабочим оборудованием обратная лопата**

Расчетное тяговое усилие ковша обратной лопаты S_T получается для положения в конце копания (рис. 9.1) из уравнения моментов относительно шарнира рукояти:

$$S_T = \frac{P_{01}r_{01} + P_{02}r_{02} + g_{к+г}r_K + g_P r_P + S_{n.c}r_{n.c}}{r_T} \qquad (9.25)$$

Скорость тяги ковша обратной лопаты при известной мощности силовой установки может быть определена из уравнения:

$$v_T = (N - \frac{S_{n.c} \cdot v_{n.c}}{102 \cdot \eta_{n.c}}) \frac{102 \cdot \eta_T}{S_T} \quad (9.26)$$

Скорость тяги ковша обратной лопаты υ_T = 0,35 … 0,45 м/с.

Усилие подъема стрелы обратной лопаты определяется приближенно из уравнения моментов относительно шарнира пяты стрелы:

$$S_{n.c} = \frac{1}{r'_{n.c}} [g_{к+г}(r_B - r_K) + g_C r_C + g_P (r_B - r_P)] \quad (9.27)$$

Скорость подъема $\upsilon_{n.c}$= 0,25 … 0,3 м/с.

9.4. Расчет механизма поворота

Для определения мощности двигателя механизма поворота необходимо определить максимальное ускорение и определить моменты сопротивления повороту.

Моменты сопротивления повороту: момент сил трения, отнесенный к поворотной платформе, для роликов с осями, закрепленными в поворотной платформе:

$$M_{mp} \approx \frac{0{,}05 \cdot R \cdot G_n}{r} (\mu \cdot d + 2 \cdot f_0) \quad (9.28)$$

для свободных роликов:

$$M_{mp} \approx 0.01 \frac{R \cdot G_n}{r} \cdot f_0$$

где: R — радиус круга катания (средний), м ; G_n — вес поворотной части экскаватора, Н; r — радиус ролика, м; d — диаметр оси ролика, м; μ — коэффициент трения ролика на оси, μ= 0,05 … 0,1; f_0 — плечо трения качения f_0 = 0,05 … 0,08, м.

Момент сил инерции в период разгона или замедления:

$$M_P = m \cdot J \cdot \varepsilon_P \quad (9.29)$$

9.5 Определение максимального ускорения поворотной платформы

Для определения максимального ускорения нужно определить момент трения сцепления ходового устройства с грунтом.

Момент трения сцепления для двухгусеничного хода определяется по формуле, предложенной Е. Р. Петерсом:

$$M_C = \frac{1}{12}\mu \cdot p_{CP}\left[2L(BD - B_1D_1) + 2.3L^3 \cdot lg\frac{D_1 - B_1}{D - B} + 2.3B^3\, lg\frac{B}{D - L} - \right.$$

$$\left. -2.3B_1^3 \cdot lg\frac{B_1}{D_1 - L}\right] \qquad (9.30)$$

где: L, B и B_1 — соответственно длина, ширина, расстояние между звеньями опорной части гусениц, м; μ≈ 0,25 — коэффициент сцепления, учитывающий возможность работы на влажных поверхностях разрабатываемых участков; $p_{ср}$ — среднее удельное давление на грунт, Н/м^2; *D* – диаметр ведущей звездочки, м; D_1 – диаметр опорного катка, м.

$$D = \sqrt{B^2 + L^2}\,; \qquad D_1 = \sqrt{B_1^2 + L^2} \qquad (9.31)$$

Момент трения сцепления гусениц с грунтом, Нм

$$M_C \geq \varepsilon_{MAX} \cdot J \qquad (9.32)$$

где ε_{MAX} — критическое угловое ускорение экскаватора в целом; при этом необходимо и достаточно, чтобы

$$\varepsilon_{MAX} = \frac{m \cdot \omega_{max}}{t_3} \qquad (9.33)$$

где m — коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся частей поворотного механизма; t_3— время замедления (торможения), с; J — момент инерции вращающейся части экскаватора с груженым ковшом, выдвинутым на три четверти хода горизонтального положения рукояти, кг·м^2.

Мощность двигателя механизма поворота:

$$N_{ДВ} = \frac{(M_{TP} + M_И)\cdot\omega}{\eta} \qquad (9.34)$$

Давление на опорную поверхность определяют, как отношение эксплуатационной массы экскаватора к площади опорной поверхности его гусеничного хода.

Среднее давление на опорную поверхность гусеничных экскаваторов не должно быть больше следующих значений для экскаваторов с массой:

до 18 т – 50 кПа; до 25 т – 65 кПа; до 32 т – 90 кПа; до 50 т – 120 кПа; свыше 50 т – 220 кПа.

9.6. Тяговый расчет

Тяговый расчет проводят для того, чтобы определить условия движения, тяговые сопротивления и мощность, расходуемую на передвижение

Необходимое тяговое усилие W на гусеничной цепи должно быть больше общего сопротивления передвижению:

$$W \geq W_1 + W_2 + W_3 \geq (0{,}1 + 0{,}3 + 0{,}09)G \approx f \cdot G \approx 0{,}5G \qquad (9.35)$$

где W_1 – сопротивление перемещению экскаватора, Н; W_2 – сопротивление при движение на подъем, Н; W_3 – сопротивление сил инерции, Н; G – вес экскаватора, Н.

Скорость передвижения υ_x экскаватора определяется мощностью двигателя $N_д$ из уравнения:

$$N_д = \frac{P_x \cdot \upsilon_x}{102 \cdot \eta_x} \qquad (9.36)$$

Откуда:

$$\upsilon_x = \frac{102 \cdot N_д \cdot \eta_x}{f \cdot G} \qquad (9.37)$$

Где:

$$P_x = f \cdot G \qquad (9.38)$$

9.7. Основные составляющие сопротивления движению

Суммарная приведенная сила сопротивления качению равна сумме сопротивлений качению на каждом колесе машины:

$$P_f = f_k \cdot \Sigma R_{ki} = f_k \cdot G \cdot \cos\alpha \qquad (9.39)$$

где G – общий вес машины, Н; α. — угол наклона поверхности качения к горизонту.

При движении машины на подъем возникает сила сопротивления подъему P_a, которое равно продольной составляющей веса машины:

$$P_a = G \cdot \sin\alpha \qquad (9.40)$$

При определении сопротивления движению машины, сопротивления качению и подъему часто объединяют вместе, выражая их через коэффициент сопротивления движению ψ_c:

$$P_f \pm P_a = G \cdot (f_k \cdot cos\,\alpha \pm sin\,\alpha) = G \cdot \psi_c, \quad (9.41)$$

где

$$\psi_c = f_k \cdot cos\,\alpha \pm sin\,\alpha \quad (9.42)$$

Здесь знак «+» ставят при движении машины на подъем и «-» — под уклон.

При движении с разгоном или торможением имеют место инерционные сопротивления. При разгоне:

$$P_n = (m + m_{пр.к}') \cdot \upsilon / t_p \quad (9.43)$$

При торможении:

$$P_n' = \left(m + m_{пр.к}''\right) \cdot \frac{\upsilon}{t_p} \quad (9.44)$$

9.8. Тяговое усилие машины

Максимальное тяговое усилие, реализуемое по условию сцепления движителей машины с поверхностью качения:

$$T_{сц} = T_{сцkmax} \quad (9.45)$$

где $G_{сц}$ — сцепной вес машины, т. е. вес, приходящийся на ее ведущие колеса; для гусеничных машин сцепной вес равен общему весу машины, Н.

Сцепной вес машины можно выразить через коэффициент $\gamma_р$, использования сцепного веса, представляющего собой отношение сцепного веса $G_{СЦ}$ к нормальной составляющей общего веса машины

$$\gamma_p = G_{сц}/(G \cdot cos\,\alpha) \quad (9.46)$$

Тогда:

$$T_{сц} = \gamma_p \cdot \phi_{сц} \cdot G\,cos\,\alpha \quad (9.47)$$

Максимальная суммарная окружная сила, которая может быть реализована по сцеплению движителей с поверхностью качения:

$$P f_{p_{сц_k}}\, cos\,\alpha_{kmax} \quad (9.48)$$

для колесных машин со всеми ведущими колесами $\gamma_р = 1$ и

$$Pсц_k \cos \alpha_{kmax} \quad (9.49)$$

9.9. Уравнения тягового и мощностного балансов.

Уравнения тягового баланса показывают, как распределяется движущее усилие, создаваемое двигателем на ведущих колесах, по отдельным видам сопротивлений движению машины. Уравнения тягового баланса для машин природообустройства обычно составляют для двух характерных режимов работы — транспортного и тягового. При работе на транспортном режиме считают, что на рабочие органы не действуют рабочие сопротивления, а машина движется с достаточно высокой (транспортной) скоростью. Для тягового режима работы машин природообустройства характерны большие рабочие сопротивления и малые скорости движения, что позволяет не учитывать сопротивления воздушной среды.

Уравнение тягового баланса можно получить либо непосредственно из условия, что тяговое усилие должно быть равно сумме сил сопротивления движению, либо из условия равенства работы тягового усилия сумме работ сил сопротивления.

Для тягового режима работы машин природообустройства уравнения тягового баланса без учета сопротивления буксования запишется так:

$$P_p = G \cdot \psi_c + W_2 + W_3 \quad (9.50)$$

а для транспортного режима работы:

$$P_p = G \cdot \psi_c + W_B + W_3 \quad (9.51)$$

где ψ_c – коэффициент суммарного сопротивления дороги; W_B – сопротивление воздуха, Н.

Уравнение мощностного баланса показывает, как распределяется мощность, передаваемая к движителям машины, по отдельным видам сопротивлений движения.

Если часть мощности двигателя, равная N_0, расходуется на привод каких-либо вспомогательных механизмов, то:

$$N_p = (N_Д - N_0) \cdot \eta \qquad (9.52)$$

Мощность, подведенная к движителям машины, расходуется на преодоление сопротивлений качению колес (гусениц) $N_f = P_f\upsilon$, подъему машины $N_\alpha = P_a\upsilon$, воздушной среды $N_в = P_в\upsilon$, на выполнение рабочих процессов $N_т = W_p\upsilon$ и на преодоление инерционных сопротивлений:

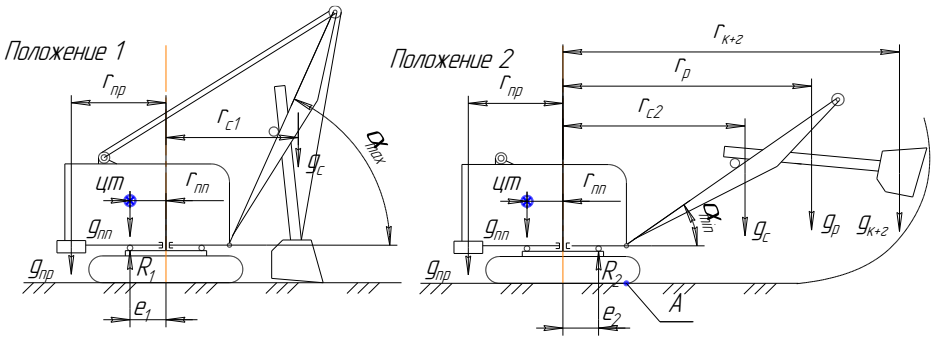
$N_n = P_и\upsilon$

$$N_p = N_f + N_a + N_в + N_T + N_n \qquad (9.53)$$

Мощность $N_т$, расходуемая на преодоление рабочих сопротивлений, называется тяговой мощностью. Для транспортных машин тяговая мощность соответствует так называемой мощности на крюке, расходуемой на движение прицепа.

9.10. Статический расчет

Рассмотрим методику выбора противовеса, для одноковшового экскаватора с рабочим оборудованием прямая лопата. Равнодействующую массу поворотной платформы и рабочего оборудования смещают в два крайних положения.



Принятые обозначения:
$r_{пр}$, $r_{пп}$, $r_с$, $r_р$, $r_{к+г}$ – плечи сил соответственно тяжести противовеса, тяжести механизмов на поворотной платформе, тяжести стрелы, тяжести рукояти и тяжести ковша с грунтом.
$g_{пр}$, $g_{пп}$, $g_с$, $g_р$, $g_{к+г}$ – силы тяжести соответственно противовеса, механизмов на поворотной платформе, стрелы, рукояти, ковша с грунтом.

Рис. 9.2 **Схема к определению устойчивости одноковшового экскаватора.**

Начало копания (положение 1): ковш опирается на грунт, его сила тяжести и сила тяжести рукояти не оказывают влияния на равновесие платформы, стрела поднята под углом α_{max} = 60º, в равновесии платформы участвуют сила тяжести стрелы g_c, сила тяжести противовеса $g_{пр}$ и сила тяжести поворотной платформы $g_{пп}$ со всеми механизмами и сборочными единицами без противовеса и рабочего оборудования.

Расчетный вылет ковша, полностью загруженного грунтом (положение 2): стрела расположена под углом α_{min}= 35…40º. В равновесии платформы участвуют силы тяжести рукояти $g_р$, ковша с грунтом $g_{к+г}$, стрелы g_c, противовеса $g_{пр}$ и механизмов на платформе g_{gg}.

Равнодействующие силы тяжести в соответствующих положениях:

$$R_1=g_{пп}+g_{пр}+g_c \quad (9.54)$$

$$R_2=g_{пп}+g_{пр}+g_c+g_р+g_{к+г} \quad (9.55)$$

Результирующие опрокидывающие моменты относительно оси поворотной платформы:

$$M_1=g_{пп} \cdot r_{пп} + g_{пр} \cdot r_{пр} - g_c \cdot r_{c1} \quad (9.56)$$

$$M_2=g_c \cdot r_{c2} + g_р \cdot r_р + g_{к+г} \cdot r_{к+г} - g_{пп} \cdot r_{пп} - g_{пр} \cdot r_{пр} \quad (9.57)$$

Смещение e_1 и e_2 равнодействующих относительно оси центральной цапфы (поворотного круга):

$$e_1=\frac{M_1}{R_1} \quad (9.58)$$

$$e_2=\frac{M_2}{R_2} \quad (9.59)$$

При соблюдении этих условий найденный противовес принимается как наиболее рациональный.

Устойчивость экскаватора оценивают коэффициентом собственной устойчивости $К_{с.у.}$ определяемым по формуле:

$$К_{с.у.}=\frac{\sum M_y}{\sum M_o} \quad (9.60)$$

где $\sum M_у$ – сумма удерживающих моментов; $\sum M_о$ – сумма опрокидывающих моментов.

Расчет устойчивости выполняют по основным нагрузкам, обеспечивая при этом коэффициент собственной устойчивости $К_{с.у.}$≥1…1,15].

$$К_{с.у.} = \frac{g_{пп}\cdot(r_{пп}+a)+g_{пр}\cdot(r_{пр}+a)}{g_{с}\cdot(r_{с}-a)+g_{р}\cdot(r_{р}-a)+g_{к+г}\cdot(r_{к+г}-a)} \quad (9.61)$$

Коэффициент рабочей (грузовой) устойчивости определяют из равновесия сил, действующих на машину относительно точки А, $К_{гр}$≥1,4.

9.11. Производительность

Теоретическая производительность:

$$П_0 = 60 \cdot q \cdot n_ц \quad (9.62)$$

где q — геометрическая емкость ковша, м^3; $n_ц$ – расчетное число циклов в минуту,

$$n_ц = \frac{60}{t_ц} \quad (9.63)$$

где: $t_ц$ — продолжительность цикла, с.

$$t_ц = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 \quad (9.64)$$

где$t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$— соответственно время копания, подъема ковша на высоту выгрузки, поворота на разгрузку, разгрузки, поворота порожнего ковша в забой, опускания ковша в забое, с.

Значения средней расчетной продолжительности цикла и средние значения коэффициентов k_P и $\frac{1}{k_P}$ для лопаты и драглайна можно принимать по прототипу экскаватора.

Техническая производительность равна:

$$П_Т = П_0 \cdot k_г \quad (9.65)$$

где: $k_г$—коэффициент влияния грунта.

Для одноковшовых экскаваторов обычно учитывается только зависимость $k_г$ от коэффициентов наполнения ковша и разрыхления грунта:

$$k_г = \frac{k_Н}{k_P} \quad (9.66)$$

Эксплуатационная производительность зависит от технической $П_т$ и определяется формулой:

$$П_Э = П_Т k_В \quad (9.67)$$

где: $k_В$ — коэффициент использования рабочего времени, учитывающий потери времени, связанные с операциями подготовки машины к работе, управления, с передвижками машины и перерывами в подаче транспорта. Величина его принимается в пределах 0,6…0,78, в зависимости от конкретных условий работы.

9.12. Вопросы для самоподготовки.

1. Объясните разницу между одноковшовым и многоковшовым экскаватором.
2. Из каких основных частей состоит одноковшовый экскаватор?
3. Какие типы ходового оборудования одноковшовых экскаваторов вы знаете?
4. Расскажите о достоинствах и недостатках электрического привода.
5. Какие вы знаете виды сменного рабочего оборудования?
6. Какие экскаваторы называются универсальными, полууниверсальными и специальными?
7. На какие группы делятся экскаваторы по своему назначению?
8. Расскажите, каким требованиям должна удовлетворять конструкция строительного экскаватора.
9. В каких случаях применяется рабочее оборудование драглайна?
10. Какими способами может производиться разработка грунта драглайном?
11. От чего зависит выбор типа забоя при работе драглайном?
12. Как устанавливается драглайн в забое?
13. Расскажите о порядке разработки забоя драглайном.
14. Что такое работа с закидкой и когда ее применяют?
15. Как производится разгрузка ковша драглайна?
16. Когда применяются экскаваторы с рабочим оборудованием обратной лопаты?
17. В каких случаях применяется рабочее оборудование прямой лопаты>
18. Объясните разницу между боковым и лобовым забоем.

19. Какими способами можно расширить лобовой забой?

20. Чем руководствуются при выборе типа забоя?

10. Расчет экскаваторов непрерывного действия

Экскаватором непрерывного действия называют самоходные землеройные машины с активными рабочими органами, которые одновременно и непрерывно копают, транспортируют и разгружают грунт при поступательном перемещении всей машины.

Общий расчет экскаватора непрерывного действия заключается в определении производительности, основных конструкционных параметров машины, выполнении тягового и статического расчетов.

10.1. Расчет производительности

Теоретическая производительность экскаватора непрерывного действия определяется из выражения:

$$П_0 = 0{,}06 \cdot n_Z \cdot q_K \qquad (10.1)$$

где: q_K - расчетная (геометрическая) вместимость ковша, л; n_Z - число разгрузок ковшей в минуту.

Число разгрузок ковшей в минуту n_Z связано со скоростью движения ковшей и их шагом (расстоянием между ковшами) следующей зависимостью:

$$n_Z = \frac{60 \cdot \upsilon_K}{T} \qquad (10.2)$$

где: υ_K - скорость ковша, м/мин; T – шаг ковшей, м.

Шаг ковшей T принимаем по прототипу.

Техническая производительность экскаватора непрерывного действия определяется объемом выработки экскаватора в плотном теле за единицу времени непрерывной работы с учетом технических возможностей машины:

$$П_Т = П_0 \frac{K_Н}{K_Р} = 0{,}06 \cdot n_Z \cdot q_K \frac{K_Н}{K_Р} \qquad (10.3)$$

где: $K_Н$ – коэффициент наполнения ковшей; $K_Р$ – коэффициент разрыхления грунта.

Средние значения коэффициентов $K_Н$ и $K_Р$ могут приниматься для заданной категории грунта (табл.10.1).

Таблица - 10.1

Коэффициенты наполнения $K_Н$, разрыхления $K_Р$ и обобщенный коэффициент влияния грунта $K_Г$ для ЭНД.

Категория грунта	$K_Н$	$K_Р$	$K_Г$
1	1,25	1,15	1,09
2	1,25	1,20	0,96
3	1,05	1,25	0,84
4	0,9	1,30	0,69

Эксплуатационная производительность ЭНД зависит от технической производительности. При ее расчете учитываются лишь простои, допускаемые конкретными производственно-техническими условиями эксплуатации машины:

$$П_Э = П_Т \cdot K_В \qquad (10.4)$$

где: $K_В$ - коэффициент использования по времени, 0,7…0,8.

10.2. Определение основных конструктивных параметров экскаватора непрерывного действия.

Рациональное соотношение рабочих скоростей экскаватора определяется из условия расчетного заполнения каждого ковша за время продвижения в массиве по всей глубине траншеи. Это условие выражается равенством:

$$q \cdot \frac{K_Н}{K_Р} = l \cdot B \cdot H \qquad (10.5)$$

или

$$q \cdot \frac{K_Н}{K_Р} = T \cdot \frac{\upsilon_Э}{\upsilon_Ц} \cdot B \cdot H \qquad (10.6)$$

где: q – вместимость ковша, м^3; $\upsilon_Э$ – рабочая скорость экскаватора, м/с; l – длина траншеи, м; B и H – расчётные ширина и глубина траншеи, м.

Отсюда следует, что при данной скорости экскаватора скорость ковшовой цепи:

$$\upsilon_Ц = \upsilon_Э \cdot \frac{B \cdot H \cdot T \cdot K_P}{q \cdot K_H} \qquad (10.7)$$

10.3. Определение рабочих скоростей, общих размеров и массы машины

Скорость рабочего перемещения определяется заданной производительностью экскаватора размерами траншеи:

$$\upsilon_Э = \frac{П}{B \cdot \text{Н}} \qquad (10.8)$$

Шаг ковшей:

$$T \geq \upsilon_Ц \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (l_K - t_Ц)}{g}} \qquad (10.9)$$

где: l_K – длина ковша; $t_Ц$ – шаг цепи.

Ориентиром для предварительного определения массы экскаватора непрерывного действия служат методики расчета параметров этих машин, разработанный в соответствии с техническими условиями. Ориентировочные массы отдельных узлов определяют по соответствующим показателям машин-аналогов.

10.4. Тяговый расчет

Определение тяговых сопротивлений экскаватора выполняется по правилам тяговых расчетов. Необходимое тяговое усилие экскаватора при рабочем движении на подъем:

$$\sum W = W_1 + P_Г \qquad (10.10)$$

где: W_1 - сопротивление передвижению экскаватора, Н; $P_Г$ - горизонтальная составляющая сопротивления грунта копанию, Н.

$$W_1 = (G + P_B)(f_1 \pm i) \qquad (10.11)$$

где: G - вес экскаватора, Н; P_B - вертикальная составляющая сопротивления грунта копанию, Н; f_1 - коэффициент сопротивления передвижению машины; i – уклон поверхности движения.

Вертикальная и горизонтальная составляющие, действующие на рабочий орган:

$$P_B = P_0(sin\,\alpha - \psi\, cos\,\alpha)$$

$$P_Г = P_0(cos\,\alpha + \psi\, sin\,\alpha) \qquad (10.12)$$

где P_0 - суммарная сила сопротивления грунта копанию, Н; α – угол наклона забоя к горизонту, $\alpha = 50\ldots55^0$; ψ - коэффициент, составляющий отношение нормальной составляющей сопротивления копанию к суммарной.

10.5. Баланс мощности экскаваторов непрерывного действия.

Его определяют для того, чтобы установить режим работы на рабочих скоростях и назначить максимальную транспортную скорость.

$$N_{двиг} = N_{цепи} + N_{пер} + N_{тр} + N_{нас} \qquad (10.13)$$

где $N_{цепи}, N_{пер}, N_{тр}, N_{нас}$ - мощности, расходуемые соответственно на привод цепного или роторного рабочего органа, передвижение экскаватора с рабочей скоростью, привод отвальных транспортных устройств и системы управления экскаватором (гидронасосы, механические лебедки).

10.6. Статический расчет экскаваторов непрерывного действия

Вследствие сравнительно малых габаритов траншейных экскаваторов ветровой нагрузкой на них при расчете устойчивости обычно пренебрегают, сводя расчет к рассмотрению двух состояний экскаватора:

а) рабочего – с опущенной ковшовой рамой;

б) нерабочего – с поднятой рамой (транспортный ход машины).

Для рабочего положения траншейного экскаватора (рис.10.1а) суммарное вертикальное давление на опорную поверхность составляет

$$g = g_0 + g_p + P_z \cdot \sin\alpha \qquad (10.14)$$

где g_0 – вес экскаватора с транспортером и грунтом на нем; g_p – вес ковшовой рамы с грунтом в ковшах; P_z – суммарное усилие копания, определяемое ранее указанным путем.

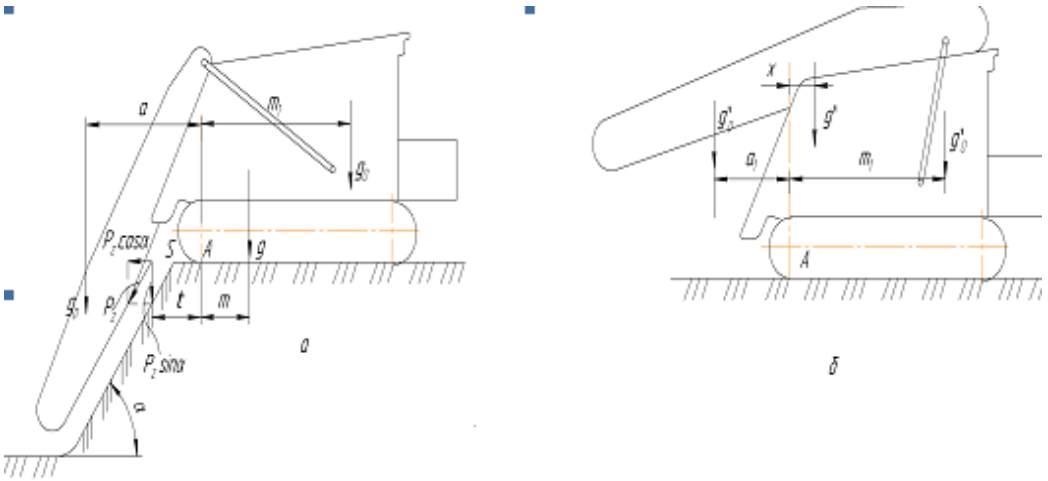


Рис. 10.1 **Расчет устойчивости экскаватора непрерывного действия.**

Пользуясь обозначениями (рис.10.1 а), для координат всех действующих сил найдем положение равнодействующей вертикальных сил относительно точки опрокидывания А из выражения

$$m = \frac{g_0 \cdot m_1 - g_p \cdot a - P_z t \cdot \sin\alpha}{g} \qquad (10.15)$$

Коэффициент устойчивости машины определиться из соотношения опрокидывающих и удерживающих моментов:

$$k_{уст} = \frac{\sum M_{уд}}{\sum M_{опр}} = \frac{g_0 \cdot m_1}{g_p \cdot a + P_z t \cdot \sin\alpha} \geq 1{,}25 \qquad (10.16)$$

Для транспортного положения машины (рис.10.1 б) имеем:

Равнодействующая вертикальных сил:

$$g' = g_0' + g_p', \qquad (10.17)$$

где g_0' и g_p' - вес экскаватора соответственно с транспортером (без грунта на нем) и ковшовой рамы (без грунта в ковшах);

Смещение центра тяжести

$$x = \frac{g_0^{'} \cdot m_1 - g_p^{'} \cdot a_1}{g^{'}} \qquad (10.18)$$

Коэффициент устойчивости в этом случае выразится соотношением:

$$k_{уст} = \frac{\sum M_{уд}}{\sum M_{опр}} = \frac{g_0^{'} \cdot m_1}{g_p^{'} \cdot a_1} \geq 1{,}25. \qquad (10.19)$$

10.7. Вопросы для самоподготовки.

1. Назначение экскаваторов непрерывного действия.

2. Расчет производительности цепных траншейных экскаваторов.

3. Классификация экскаваторов непрерывного действия.

4. Принцип работы экскаваторов непрерывного действия.

5. Технические характеристики цепных экскаваторов продольного копания.

6. Рабочие скорости роторных траншейных экскаваторов продольного копания.

7. Виды экскаваторов поперечного копания.

8. Виды режущих элементов цепных экскаваторов продольного копания.

9. Расчет производительности роторных экскаваторов продольного копания.

10. Способы разгрузки ковшей роторных траншейных экскаваторов.

11. Рабочие скорости роторных экскаваторов поперечного копания.

12. Техническая производительность роторных экскаваторов поперечного копания.

13. Привод роторных траншейных экскаваторов.

14. Система управления экскаватора поперечного копания.

15. Ходовое оборудование экскаваторов непрерывного действия.

16. Способы регулирования уклона дна траншеи.

17. Особенности работы в переувлажненных грунтах.

18. Особенности работы в мерзлых грунтах.

19. Привод цепных траншейных экскаваторов.

20. Способы натяжения цепи.

11. Расчет автогрейдера

Основное назначение автогрейдера – профилирование и создание дорожного полотна путём перемещения к оси полотна грунта, вынутого из боковых кюветов, возведение невысоких насыпей, планировка площадок и пологих откосов, перемешивание и разравнивание материалов дорожных покрытий.

Основной расчет автогрейдера заключается в определении основных параметров и размеров машины, производительности, тяговых сопротивлений и тягового расчета, мощности двигателя.

11.1. Определение основных параметров и размеров.

Основные параметры и размеры автогрейдеров регламентируются ГОСТ 9420-79. К ним относятся: масса автогрейдера, удельная мощность, высота отвала, длина отвала, скорости движения.

11.2. Производительность автогрейдера

При постройке насыпи из боковых резервов:

$$П_T = \frac{3600 \cdot V}{T \cdot K_P} \qquad (11.1)$$

где: V – объем грунта, перемещаемого за один проход:

$$V = \frac{H_0^2 \cdot L_0 \cdot K_H}{2 \cdot tg\phi_Г} \qquad (11.2)$$

где: K_H – коэффициент наполнения, K_H = 1,8…2,0; $\varphi_Г$ – угол естественного откоса, $\varphi_Г$ = 30…40^0; T – продолжительность цикла, с.

$$T = \frac{l_P}{\upsilon_P} + \frac{l_П}{\upsilon_П} + \frac{l_X}{\upsilon_X} + t_C + t_0 + 2 \cdot t_П \qquad (11.3)$$

где: l_P – длина пути резания, м; $l_П$ – длина пути перемещения, м; l_X – длина пути обратного хода, м; υ – скорость резания, м/с; υ – скорость перемещения, м/с; υ – скорость обратного хода, м/с; t_C – время на переключение передач, с; t_O – время на подъем и опускание отвала, с; $t_П$ – время поворота в конце участка, с; K_P – коэффициент разрыхления грунта.

11.3. Особенности рабочего процесса и взаимодействия рабочего органа с грунтом.

Рабочий процесс автогрейдера заключается в срезе и поперечном перемещении грунта рабочим органом, расположенным под углом к направлению движения.

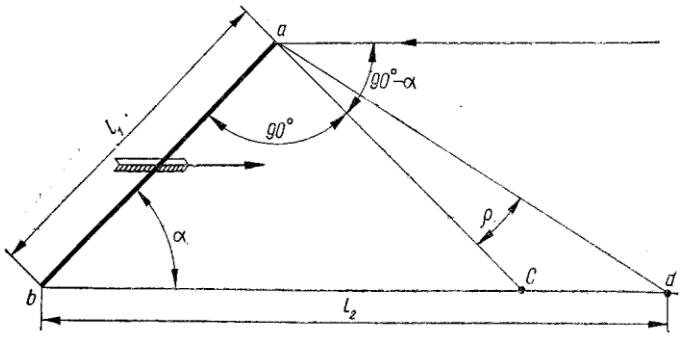


Рис. 11.1 **Схема движения частицы грунта перед отвалом грейдера**: l_1-длина отвала грейдера, α — угол установки отвала по отношению к направлению движения грейдера, l_2— путь грейдера, за который грунтовая частица сместится за пределы отвала.

Если пренебречь силами трения, то траектории частиц грунта можно считать лежащими в вертикальной плоскости, проходящей через точки *a* и *c* под углом 90° – α к направлению движения машины (рис. 11.1). Тогда частица грунта, попавшая на отвал в точке *a* должна сойти с него в точке *c*.

Из-за трения траектории частицы отклоняются на угол ρ, в результате чего частица оказывается за пределами отвала только в точке *d*.

Скорость перемещения грунтовой призмы вдоль отвала:

$$\upsilon_{ПР} = \upsilon_{ГР} \cdot \frac{l_1}{l_2} \qquad (11.4)$$

где: $\upsilon_{ГР}$ – скорость движения грейдера, м/с.

Подставляя в это выражение значение l_1, определяемое из косоугольного треугольника abd, получим:

$$\upsilon_{ПР} = \upsilon_{ГР} \cdot (\cos\alpha - tg\rho \cdot \sin\alpha) \qquad (11.5)$$

Зная скорость перемещения грунта вдоль отвала и поперечное сечение призмы волочения, можно определить количество грунта, перемещаемого грейдером.

Сечение призмы волочения принято условно считать треугольным, тогда его площадь:

$$F_{ПР} = \frac{(H^2 \cdot ctg\phi \cdot K_{ЗАП})}{2} \qquad (11.6)$$

где: Н – высота отвала, м; φ – угол естественного откоса грунта в движении; $к_{зап}$ –коэффициент накопления грунта перед отвалом.

Максимальное количество грунта, перемещаемого отвалом за единицу времени, т. е. пропускная способность отвала, определяется по формуле:

$$П_{ОТ} = F_{ПР} \cdot \upsilon_{ПР}, \qquad (11.7)$$

Грунт перемещается поперек движения грейдера на расстояние

$$l = L \cdot sin\,\alpha \qquad (11.8)$$

где: L — длина отвала, м.

Этого перемещения чаще всего недостаточно для укладки грунта в тело сооружения. Поэтому каждый срез грунта сопровождается несколькими проходами автогрейдера для перемещения, срезанного грунта. Так как количество перемещаемого грунта увеличивается с уменьшением угла захвата, то проходы для перемещения грунта целесообразно выполнять при угле захвата до 45°.

11.4. Тяговые сопротивления и тяговый расчет

Различают два режима работы автогрейдера: рабочий и транспортный. Для рабочего режима характерны большие тяговые сопротивления и малые скорости движения, для транспортного – большие скорости движения и сравнительно малые тяговые сопротивления.

При рабочем режиме общее тяговое сопротивление:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 + F_8 \qquad (11.9)$$

где: F_1 – сопротивление резанию грунта, Н; F_2 – сопротивление трению ножа о грунт, Н; F_3 – сопротивление перемещению призмы волочения по грунту, Н; F_4 – сопротивление перемещению грунта вдоль отвала, Н; F_5 – сопротивление перемещению грунта вверх по отвалу, Н; F_6 – сопротивление перемещению автогрейдера, Н; F_7 – сопротивление движению на подъем, Н; F_8 – сопротивление сил инерции, Н.

Сопротивление резанию грунта:

$$F_1 = K_{рез} \cdot S_C \qquad (11.10)$$

где: $K_{рез}$ – удельное сопротивление грунта резанию, Н/м^2; S_C – проекция площади поперечного сечения стружки грунта, м^2.

$$S_C = L_0 \cdot h_P \cdot \sin\alpha \qquad (11.11)$$

где: L_0 – длина отвала, м; h_P – глубина резания, м; α – угол захвата.

Сопротивлению трению ножа о грунт:

$$F_2 = R_Z \cdot f_C \qquad (11.12)$$

где: R_Z – вертикальная составляющая суммарного усилия, действующего на нож, Н; f_C – коэффициент трения ножа о грунт.

Сопротивление перемещению призмы волочения:

$$F_3 = L_0(H_0 - 0{,}25h_P)^2(2K_P\phi_Г)^{-1}f_Г \cdot \sin\alpha \qquad (11.13)$$

где: H_0 – высота отвала, м; $\varphi_Г$ – угол трения грунта о грунт; $f_Г$ – коэффициент трения грунта о грунт.

Сопротивления перемещению грунта вдоль отвала:

$$F_4 = G_{ПР} \cdot f_Г \cdot f_C \cdot \cos\alpha \qquad (11.14)$$

Сопротивление перемещению вверх по отвалу:

$$F_5 = G_{ПР} \cdot f_C \cdot \cos^2\psi \cdot \sin\alpha \qquad (11.15)$$

где: $G_{пр}{\cdot}f_Г$ – сила сопротивления перемещению призмы волочения, Н; $G_{пр}{\cdot}f_Г$ f_C – сила трения грунта при движении вдоль отвала, Н.

Общее сопротивление копанию:

$$F_{КОП} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 = K_{КОП} \cdot S_C \qquad (11.16)$$

Сопротивление перемещению автогрейдера:

$$F_{ПЕР} = F_6 + F_7 = f_0 \cdot G + G \cdot sin\,\alpha_У \quad (11.17)$$

где: f_0 – суммарный коэффициент сопротивления качению; α_y – угол наклона поверхности к горизонту.

Сопротивление сил инерции:

$$F_8 = \frac{(m_a + m_Г) \cdot \upsilon_P}{t_P} \quad (11.18)$$

где: $(m_a + m_Г)$ - масса автогрейдера и грунта в призме волочения, кг; υ_P - рабочая скорость движения, м/с; t_P - время разгона, с.

При транспортном режиме общие тяговые сопротивления:

$$F = F_6 + F_7 + F_8 + F_9 \quad (11.19)$$

где: F_9 – сопротивление воздуха, Н.

Сопротивление воздуха:

$$F_9 = K_0 \cdot S_Л \cdot \frac{\upsilon_T^2}{3{,}6^2} \quad (11.20)$$

где: K_0 - коэффициент обтекаемости, Н·с^2/м^4; $S_Л$ - лобовая площадь, м^2; υ_T - транспортная скорость, км/ч.

11.5. Мощность двигателя.

На первой рабочей скорости при режиме максимальной тяговой мощности, с учетом коэффициента буксования δ = 20%, двигатель должен работать на режиме максимальной мощности:

$$N = (0{,}70 \ldots 0.73)\phi_{СЦ} \cdot \varepsilon \cdot f_0 \cdot G_a \cdot \upsilon_P^{-1} \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot$$

$$\cdot \eta^{-1} k_{вых}^{-1} \cdot k_0 (1 - 0{,}01\delta) \quad (11.21)$$

где: η – общий КПД трансмиссии; $k_{вых}$ - коэффициент выходной мощности двигателя, $k_{\text{вых}} = 0{,}9$; k_0 - коэффициент, учитывающий отбор мощности на привод вспомогательных механизмов, $k_0 = 0{,}75 \ldots 0{,}90$.

Мощность при передвижении на максимальной транспортной скорости:

$$N = (f_0 \cdot G_a + F_9)\upsilon_{T\,MAX} \cdot \eta^{-1} \cdot 3{,}6^{-1} \cdot 10^{-3} \quad (11.22)$$

где: $\upsilon_{T\,MAX}$ - максимальная транспортная скорость, м/ч.

По наибольшему значению N с коэффициентом запаса $k_{ЗАП} = 1{,}2\ldots1{,}4$ подбирают двигатель:

$$N_{ДВ} = k_{ЗАП} \cdot N \qquad (11.23)$$

11.6. Вопросы для самоподготовки.

1. Область применения автогрейдеров.
2. Начертите принципиальную конструктивную схему автогрейдера с гидравлическим управлением и опишите его устройство.
3. Начертите гидравлическую схему автогрейдера и опишите его устройство.
4. Произведите тяговый расчет автогрейдера.
5. Определите нагрузки, действующие на элементы рабочего оборудования и системы управления.
6. Рассчитайте производительность автогрейдера и выберите оптимальный режим его работы.
7. Классификация автогрейдеров.
8. Способы установки отвала.
9. Как расшифровывается колесная формула автогрейдера?
10. Произведите расчет баланса мощности автогрейдера.

12. Расчет бульдозера

Бульдозер представляет из себя навесное оборудование на гусеничный или колесный трактор в виде отвала криволинейного профиля, навешиваемого при помощи рамы или толкающих брусьев.

Бульдозеры служат для послойного копания, планировки и перемещения грунтов и других материалов на расстояние до 60…150 м при строительстве и ремонте дорог, каналов, дамб, котлованов и др.

Общий расчет бульдозера заключается в выполнении тягового и статического расчетов, а также в определении основных параметров.

К основным параметрам бульдозера относят удельное напорное усилие и вертикальное давление внедрение на режущей кромке ножа отвала. Они

определяют возможность разработки грунтов с различным сопротивлением копанию.

Главный параметр бульдозера – номинальное тяговое усилие, которое определяется на плотном грунте с учетом догрузки базовой машины массой рабочего оборудования.

Номинальное тяговое усилие бульдозера:

$$F = m \cdot g \cdot k \cdot \phi_{СЦ} \quad (12.1)$$

где: m – масса бульдозера, кг;

k – коэффициент использования массы по сцеплению;

$\phi_{СЦ}$ - коэффициент сцепления.

Скорость рабочего хода бульдозера выбирают в пределах 2,5…3,5 км/ч. Высота отвала H регламентируется тяговым усилием бульдозера и определяется по эмпирическим формулам для неповоротного отвала:

$$H = 230\sqrt[3]{F} - 0{,}5F \quad (12.2)$$

для поворотного отвала:

$$H = 210\sqrt[3]{F} - 0{,}5F \quad (12.3)$$

где: F – номинальное тяговое усилие базовой машины, Н.

12.1. Тяговый расчет

Тяговые сопротивления при работе бульдозера определяют в момент окончания набора грунта перед отвалом.

Общее тяговое сопротивление:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 \quad (12.4)$$

где: F_1 – сопротивление грунта резанию, Н; F_2 – сопротивление перемещению призмы волочения, Н; F_3, F_4 – сопротивление трению при движении грунта соответственно вверх по отвалу и вдоль него, Н; F_5 – сопротивление движению базовой машины с бульдозерным оборудованием, Н.

Сопротивление грунта резанию:

$$F_1 = k \cdot B \cdot h \cdot \cos\alpha \quad (12.5)$$

где: k – удельное сопротивление грунта резанию, Н/м^2; B – ширина отвала, м; h – глубина резания, м; α – угол установки отвала.

Сопротивление перемещению призмы волочения грунта:

$$F_2 = m_{ПР} \cdot g \cdot f_Г \cdot \cos\alpha \qquad (12.6)$$

где: $m_{пр}$ – масса призмы волочения, кг.

$$m_{ПР} = V_{ПР} \cdot \gamma_p = \frac{B \cdot H^2}{2k_{ПР}} \gamma_P \qquad (12.7)$$

где: H – высота отвала, м; $k_{ПР}$ – коэффициент, зависящий от характеристики грунта и формы отвала; для связных грунтов $k_{ПР} = 0{,}8\ldots0{,}9$, для несвязных - $k_{ПР} = 1{,}2\ldots1{,}3$; γ_p – плотность разрыхленного грунта, кг/м^3; $f_Г$ – коэффициент трения грунта о грунт.

Сопротивление трению при движении грунта вверх по отвалу:

$$F_3 = m_{ПР} \cdot g \cdot f_C \cdot \cos^2\delta \cdot \cos\alpha \qquad (12.8)$$

где: f_C – коэффициент трения грунта по металлу; δ – угол резания.

Сопротивление трению при движении грунта вдоль по отвалу:

$$F_4 = m_{ПР} \cdot g \cdot f_C \cdot f_Г \cdot \sin\alpha \qquad (12.9)$$

Сопротивление движению базовой машины с бульдозерным оборудованием:

$$F_5 = (m_б \cdot g \pm R_{OB})(f_0 \pm i) \qquad (12.10)$$

где: $m_б$ – масса бульдозера, кг; R_{OB} – вертикальная реакция на отвал бульдозера, Н; f_0 – коэффициент сопротивления движению базовой машины; i – уклон поверхности движения.

Потребная мощность двигателя трактора:

$$N = \frac{F \cdot \upsilon}{3{,}6 \cdot \eta} \qquad (12.11)$$

где: υ – рабочая скорость бульдозера, км/ч; η – КПД трансмиссии.

12.2. Производительность.

Техническая производительность бульдозера при разработке перемещении грунта определяется по формуле:

$$П_Т = \frac{3600 \cdot V \cdot k_Y}{t_Ц \cdot k_P} \qquad (12.12)$$

где V – объем призмы волочения, м^3; k_Y – коэффициент уклона; $t_Ц$ – время одного цикла, с; k_P – коэффициент разрыхления грунта.

Производительность бульдозера зависит от формы отвала, длины транспортирования, свойств грунта (песок или глина), работы под уклон или на подъем.

12.3. Определение усилий, действующих на бульдозер. Расчетные положения.

На бульдозер с неповоротным отвалом во время работы действуют следующие силы: сила тяжести базовой машины и навесного оборудования, реакции со стороны грунта на отвал, составляющие силы в упряжном шарнире, усилия в механизме управления отвалов при выглублении и заглублении отвала, касательная сила тяги, силы сопротивления передвижению базовой машины и равнодействующая вертикальной реакции грунта на ходовое оборудование, приложенная в центре давления.

Максимальная горизонтальная составляющая реакции грунта на отвал определяется толкающей возможностью тягача по сцеплению:

$$R_{ОГ} = F_{К.СЦ} - F_5 \qquad (12.13)$$

где: $F_{К.СЦ}$ – касательная сила тяги по сцеплению, Н.

Касательная сила тяги по сцеплению определяется в двух положениях рабочего оборудования:

отвал не удерживается механизмом управления, и он опирается на грунт:

$$F_{К.СЦ} = G_б \cdot \phi_{СЦ} \qquad (12.14)$$

отвал удерживается механизмом управления, при этом:

$$F_{К.СЦ} = (G_б + G_Н \pm R_{ОВ})\phi_{СЦ} \qquad (12.15)$$

12.4. Статический расчет

При статическом расчете бульдозера определяют отклонение центра давления от точки приложения результирующей всех сил R, действующих на

ходовое оборудование, до середины опорной поверхности машины, максимальное давление на кромках гусениц и общую устойчивость бульдозера.

Положение центра давления определяют для трех положений бульдозера:

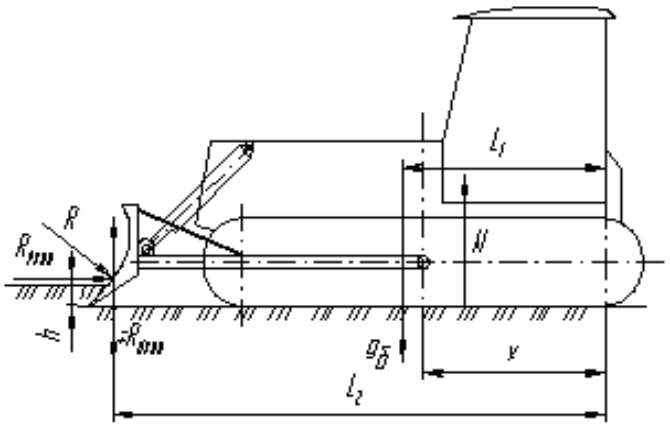
1. на горизонтальной площадке с поднятым отвалом;

2. на горизонтальной площадке в процессе отделения от массива стружки оптимальной толщины при максимально возможном объеме грунта перед отвалом;

3. во время движения в горизонтальной траншее с перемещением максимально допустимого объема грунта без резания.

Смещение центра давления не должно приводить к отрыву от грунта передней и задней кромок гусениц или соответствующих колес машины. Смещение центра давления определяется согласно условиям статики (рис.12.1).

Рис. 12.1 **Схема сил для определения координат центра давления**: $g_б$ -



эксплуатационная сила тяжести бульдозера, $R_{Pкоп}$и $R_{Nкоп}$ - соответственно касательная и нормальная составляющие сопротивления грунта копанию, N – опорная реакция грунта; l_1,l_2 и h – плечи сил тяжести бульдозера, рабочего оборудования и силы копания, x – смещение центра давления.

$$x = \frac{g_б \cdot L_1 + R_{Nкоп} \cdot L_2 - R_{Pкоп} \cdot h}{N} \qquad (12.16)$$

Общая устойчивость бульдозера определяется для двух случаев:

- упор отвала в препятствие (рис.12.2, а);

- подъем отвала (рис.12.2, б).

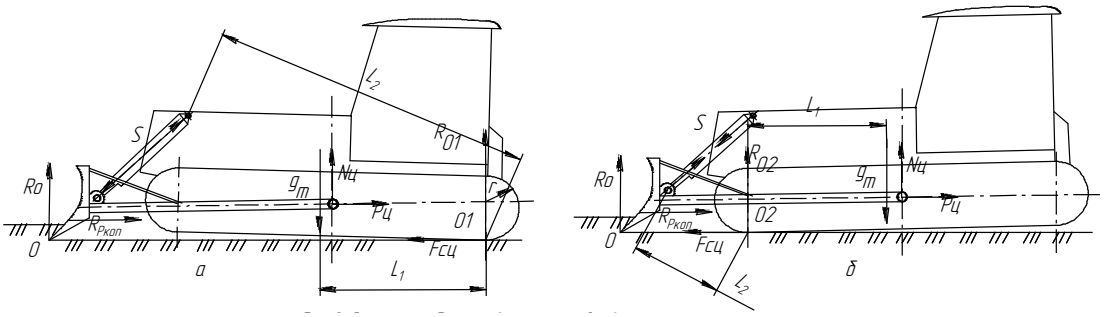


Рис. 12.2 **Схема для определения нагрузок, действующих на бульдозер:**
а) заглубление отвала, б) выглубление отвала, *S* – усилие в гидроцилиндре, l_1, l_2 – плечи усилий, действующих в гидроцилиндре, соответственно при заглублении и выглублении отвала.

Проверка осуществляется по условию неопрокидывания вокруг заднего О1 или переднего О2 ребра. При этом коэффициент устойчивости должен быть не менее 1,5.

$$K = \frac{\sum My}{\sum Mo} = 1{,}5 \qquad (12.17)$$

С достаточной для расчета точностью силы Ro, $R_{Ркоп}$ и S можно считать пересекающимися в одной точке О и, следовательно, не создающими каких-либо моментов в вертикальной плоскости. Расположение балок толкающей рамы под небольшим углом к горизонту позволяет считать, что $R_{Ркоп} = 2P_ц$ и пренебрегать силами $N_ц$.

Тогда для первого случая (рис.12.2 а) коэффициент устойчивости можно определить из выражения:

$$k_{УСТ} = \frac{g_m \cdot l_1}{2S \cdot l_2 + 2P_Ц \cdot r} = \frac{g_m \cdot l_1}{2S \cdot l_2 + R_P \cdot r}, \qquad (12.18)$$

а для второго случая (рис.12.2 б)

$$k_{УСТ} = \frac{g_m \cdot l_1 + R_P \cdot r}{S \cdot l_2}. \qquad (12.19)$$

При проектировании бульдозера эти же уравнения могут быть использованы для определения усилия, развиваемого гидроцилиндрами механизма подъема отвала при заданном коэффициенте устойчивости (К=1,5).

12.5. Вопросы для самоподготовки.

1. По каким признакам классифицируют бульдозеры?
2. Как способ маневрирования бульдозера связан с типом рамы?
3. Для чего нужны балансирный брус и диагональное звено?
4. Какие контуры гусеничного ходового оборудования известны?
5. Для чего нужен перекос отвала в поперечной плоскости?
6. Используют ли одновременно толкающие рамы и брусья?
7. Какие типы толкающих рам известны?
8. Для каких целей используют разные типы отвалов?
9. Перечислите расчётные случаи, используемые при проверке бульдозерного оборудования на прочность.
10. Из каких составляющих складывается рабочий цикл бульдозера?

13. Расчет скрепера.

Скрепером называется землеройно-транспортная машина с ковшовым рабочим органом, предназначенная для послойного резания грунта с одновременным заполнением ковша, транспортирования его к месту выгрузки, отсыпки (с частичным разравниванием и уплотнением) слоями определенной толщины.

По способу агрегатирования все скреперы делятся на: прицепные, полуприцепные и самоходные, а по числу осей — на одноосные и двухосные.

Вместимость ковша прицепных скреперов по типоразмерам, установленным ГОСТ 5738—73, составляет соответственно 3, 4, 5, 8, 10, 15, 25 $м^3$. Максимальное заглубление в зависимости от вместимости ковша 100…500мм. Толщина слоя отсыпки 300…600 мм.

Задачей общего расчета скреперов является определение основных параметров, проведение тягового расчета, проверка его устойчивости при работе и определение производительности.

13.1. Определение основных параметров скрепера.

Главный параметр тягача — максимальная мощность двигателя и нагрузка на ось, а скрепера — вместимость ковша.

Вместимость ковша:

$$V_K = G_Г \cdot \frac{K_P}{K_H} \cdot \gamma \qquad (13.1)$$

где: $G_г$, -вес грунта в полностью загруженном ковше, Н; *Kp* — коэффициент разрыхления; *Kн* — расчетный коэффициент наполнения ковша (при совместной работе с толкачом на тяжелых суглинках и глине *Kн*=0,9…1,1, на легких суглинках *Kн* =1,1…1,2, на несвязных грунтах *Kн*=0,8…1,0); γ — удельный вес грунта ненарушенной структуры, Н/ м^3 .

Высота задней стенки:

$$h_{зад}=0,45h_г \qquad (13.2)$$

где: $h_г$, — высота наполнения ковша (по вертикали от линии стыка ножа с днищем); при $V_к$= 3, 6, 10, 15 *м,* соответственно $h_г$=1,0…1,13; 1,25…1,50; 1,8…2,0; 2,3…2,4 *м*.

Длину l_k, и высоту h_k, ковша можно определять приближенно:

$$l_k \cong \sqrt{xV_k b_к^{-1}}; h_K \cong \sqrt{V_K (x)^{-1} b_к^{-1}} \qquad (13.3)$$

Габаритная ширина:

$$b_г=b_к+\Delta b \qquad (13.4)$$

где $b_к$ — внутренняя ширина ковша, м.

Для самоходных скреперов с одноосным тягачом габаритная длина и ширина ковша:

$$l_к=(0,87…1,13)(1050+765\sqrt[3]{V_к + 2,5})10^{-3} \qquad (13.5)$$

$$b_к=(0,87…1,13)(400 +1060\sqrt[3]{V_к}) \cdot 10^{-3} \qquad (13.6)$$

высота боковой стенки:

$$h_{бок}=(0,9…1,2)(250 + 520\sqrt[3]{V_к}) \cdot 10^{-3}) \qquad (13.7)$$

ширина резания:

$$b_{рез}=(0,9…1,1)(-500 + 1620\sqrt[3]{V_к - 4,7}) \cdot 10^{-3}) \qquad (13.8)$$

вес скрепера:

$$G_c=10^{-2}(0{,}81\ldots1{,}19)\mathrm{V_к} \qquad (13.9)$$

Толщина стружки может быть определена по формуле:

$$C = q \cdot \frac{K_H}{K_P} \cdot L \cdot h \cdot b \qquad (13.10)$$

где: *Кр* – коэффициент разрыхления; *Lн* – длина заполнения (~60*м*).

13.2. Производительность скреперов.

Производительность скреперов подсчитывают по формуле, общей для всех машин цикличного действия:

$$П = 3600 \cdot \frac{q_K \cdot K_H}{t_Ц \cdot K_P} \qquad (13.11)$$

где: q_K – геометрическая емкость ковша, м^3; $K_н$ – коэффициент наполнения ковша; K_p – коэффициент разрыхления грунта; $t_Ц$ – продолжительность цикла, с.

В свою очередь $t_Ц$ складывается из ряда элементов цикла:

$$t_Ц = t_H + t_{ГХ} + t_B + t_{XX} \qquad (13.12)$$

где: t_H ,$t_{ГХ}$,t_B ,t_{XX} – соответственно продолжительности набора грунта, груженого хода, выгрузки, холостого хода.

Продолжительность каждой из составляющих цикла определяется делением соответствующей длины пути на скорость движения:

$$t_H = \frac{l_H}{\upsilon_H} \cdot K_З \qquad (13.13)$$

$$t_{ГХ} = \frac{l_{ГХ}}{\upsilon_{ГХ}} \cdot K_З \qquad (13.14)$$

$$t_{\mathrm{В}} = \frac{l_{\mathrm{В}}}{\upsilon_{\mathrm{В}}} \cdot \mathrm{К_З} \qquad (13.15)$$

$$t_{XX} = \frac{l_{XX}}{\upsilon_{XX}} \cdot K_З \qquad (13.16)$$

где:: l_H ,$l_{ГХ}$,l_B ,l_{XX} – длины участков пути набора, груженного, выгрузки, и порожнего хода, м; υ_H, $\upsilon_{ГХ}$, υ_B, υ_{XX} – соответствующие элементам цикла скорости движения тягача при наборе, выгрузке груженом и порожнем ходе, выбираем соответствие с тяговыми сопротивлениями на различных участках пути движения скрепера, м/с; $K_З$ – коэффициент, учитывающий увеличение

продолжительности элементов цикла, за счет разгона при трогании с места, замедления при остановке и переключении передач, пробуксовки движителей по грунту.

13.3. Тяговый расчет скрепера с загрузкой тягачом.

Этот расчет проводят двумя способами: 1) по заданной вместимости определяют тяговые сопротивления и потребную силу тяги, по которой подбирают тягач; 2) по заданному типу тягача и его мощности рассчитывают вместимость ковша скрепера. Для прицепного скрепера, по опытным данным, вычисляют ориентировочную вместимость и проводят проверочный расчет, определяя возможность применения заданного тягача. Для самоходного скрепера находят вместимость ковша из тягового расчета для транспортного режима и проверяют расчетом на наполнение ковша. Полное тяговое сопротивление, возникающее при наполнении ковша скрепера:

$$F=F_1+F_2+F_3+F_4+F_5 \qquad (13.17)$$

где: F_1,F_2,F_3,F_4,F_5— сопротивления соответственно перемещению груженого скрепера, резанию грунта, трению ножа о грунт, наполнению ковша, перемещению призмы волочения, Н.

Сопротивление перемещению груженого скрепера:

$$F_1=(G_c+G_г)(f'_o\pm i) \qquad (13.18)$$

где: $G_c+G_г$, — вес груженого скрепера, H; f'_o — суммарный коэффициент сопротивления передвижению; $i=tga_y$; a_y— угол наклона поверхности движения, град.

Сопротивление резанию грунта ножом скрепера:

$$F_2=k_{рез}S_c \qquad (13.19)$$

где: Sc — площадь проекции стружки, м^2; при $Vк$ = 6, 10 и 1 5 м^3, рекомендуемая толщина стружки составляет соответственно 0,04…0,06; 0,08…0,10 и 0,12…0,14 м (суглинок) и 0,06…0,08; 0,10…0,14 и 0,16…0,18 м (супесь); $k_{рез}$ — коэффициент удельного сопротивления резанию, Н/м^2.

Сопротивление наполнению ковша скрепера грунтом, состоит из сопротивления силе тяжести поднимаемого столба грунта и сопротивления трению грунта в ковше, обусловленного давлением призм грунта, располагающихся по обе стороны входящей в ковш на III стадии заполнения стружки:

$$F_4=F_4'+F_4''=b_к h_{рез} h_г \gamma + x b_к h_г^2 \gamma \qquad (13.20)$$

где: $h_{рез}$ — толщина стружки, *м*; $b_к, h_г$ — ширина ковша и высота грунта в нем, *м*; γ — в *Н/м* ; x — коэффициент, $x=tg\varphi_г/(1+tg^2\varphi_г)$ — угол внутреннего трения грунта, град.

По опытным данным, объем призмы волочения перед заслонкой (в процентах от вместимости ковша) составляет: 26, 28 и 32 для песка; 22, 17 и 16 для супеси: 10, 10 и 9 для влажных суглинков; 10, 5 и 4 для глин при вместимости ковша соответственно 6, 10 и 15м^3.

Сопротивление перемещению призмы волочения:

$$F_5=V_п \cdot \gamma \cdot f_г \cdot k_р^{-1} \qquad (13.21)$$

где: $V_п$ — объем призмы волочения, м^3; $f_г$ – коэффициент трения грунта по грунту, для связных грунтов $f_г$=0,5; для несвязных грунтов $f_г$=0,7; максимальное значение $f_г$=1,0.

При наборе грунта самоходным скрепером $F_к \geq F$ и $G_{сц}\varphi_{сц} \geq F$ и прицепным скрепером:

$$F_{кр} \geq F \text{ и } G_{тр}(\varphi_ц - f_о - i) \geq F \qquad (13.22)$$

где: $F_к$ — максимальная окружная сила на шинах ведущих колес, Н; F— суммарное тяговое сопротивление, Н; $F_{кр}$ — максимальная сила на крюке тягача, Н; $G_{сц}, G_{тр}$ — сцепной вес соответственно колесного и гусеничного тягачей, Н; $\varphi_{сц}$ — коэффициент сцепления; $f_о$ — коэффициент сопротивления передвижению движителя тягача.

При использовании толкачей на загрузке с максимальным толкающим усилием $F_{толк}$:

$$k_{од}(F_к + F_{толк}) \geq F \text{ и } k_{од}(F_{кр} + F_{толк}) \geq F \qquad (13.23)$$

где: $k_{од}$ — коэффициент одновременности работы толкача и тягача; $k_{од}$=0,85…0,90.

13.4. Тяговый расчет самоходных одномоторных скреперов.

Цель — определение основных параметров самоходного скрепера и толкача, обеспечивающие необходимые усилия для эффективного копания с толкачом и необходимую транспортную скорость.

Допустимый вес груженого скрепера:

$$G = G_c + G_г = \frac{3{,}6\cdot10^3\eta}{f_o'v_{трmax}}\left(k_o k_{вых} N_{дв} - \frac{k_{об}Sv_{трmax}^2}{3{,}6^2}\frac{v_{трmax}}{3{,}6\cdot10^3\eta}\right) \qquad (13.24)$$

где: G_c, G_r — соответственно вес порожнего скрепера и грунта в ковше, H; η— механический КПД трансмиссии; k_o — коэффициент, учитывающий отбор мощности на привод вспомогательных механизмов; $k_{вых}$— коэффициент выходной мощности; $k_{вых}$=0,9; $N_{дв}$— максимальная мощность двигателя, $кВт$; $k_{об}$=0,6…0,7—коэффициент обтекаемости, Нс^2/м^4; S — лобовая площадь одноосного тягача, м^2 (ориентировочно произведение ширины колес на максимальную высоту тягача); $v_{трmax}$—максимальная транспортная скорость, км/ч; $v_{трmax}$=45…55 км/ч.

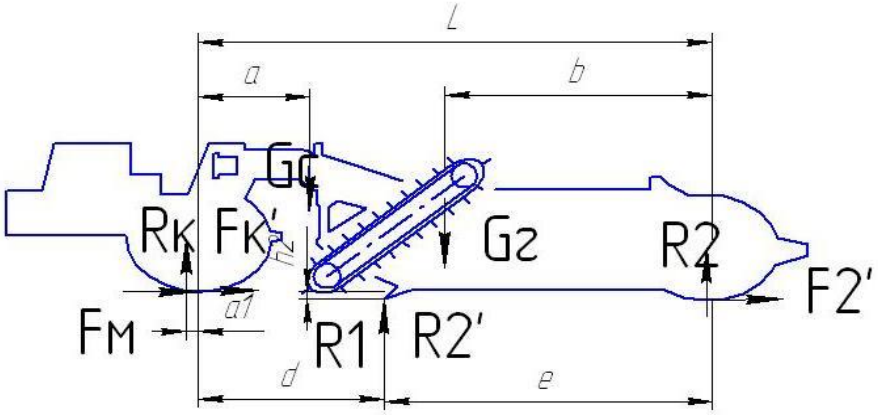
Толкач выбирается таким, чтобы в конце заполнения ковша полностью использовались тяговые качества тягача и толкача.

Максимальная сила тяги скрепера с гусеничным толкачом по сцеплению:

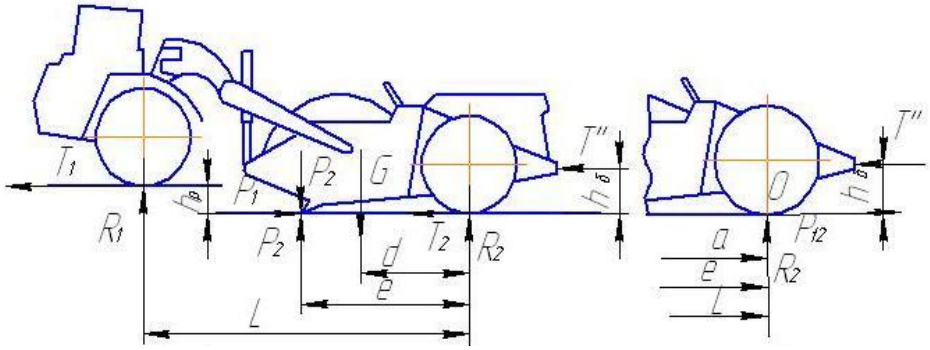
$$F_{толк} = \frac{F}{k_{ов}} - F_к = \frac{F}{k_{ов}} - (0{,}73\ldots0{,}75)\phi_{сц}R_1 \qquad (13.25)$$

где: $F_к$— максимальная сила тяги тягача по сцеплению, Н; R_1 — нормальная реакция грунта на колеса одноосного тягача в заключительной стадии заполнения ковша скрепера, Н.

Уравнение (13.25) называется уравнением тягового баланса самоходного скрепера, работающего с толкачом. По тяговому усилию, определяемому по формуле (13.25), можно выбрать толкач.



а)



б) в)

Рис. 13.1 **Схемы к расчету самоходного скрепера**:

а)заполнение с элеваторной загрузкой; б) со всеми ведущими колесами; в) с передними ведущими колесами.

Мощность двигателя тягача самоходного скрепера при рассматриваемом режиме работы:

$$N_{дв} = \frac{[F_к + (f_o' \pm i)R_1]v_д}{3{,}6 \cdot 10^3 \eta (1 - 0{,}01\delta_o)} \qquad (13.26)$$

где: f_o — коэффициент сопротивления качению: $v_д$ – скорость скрепера, км/ч; η- КПД трансмиссии тягача; δ_o=30%.

13.5. Баланс мощности.

Необходимая мощность двигателя тягача, для прицепного скрепера при наборе грунта без толкача:

$$N_{дв}=[G_m(f_o \pm i)+F]v_p/(3{,}6*10^3\eta) \qquad (13.27)$$

где: G_m — вес тягача, Н; f_o — коэффициент сопротивления передвижению движителя тягача; v_p — рабочая скорость, км/ч; η —общий КПД трансмиссии тягача.

Для самоходного скрепера со всеми ведущими колесами мощность двигателя:

$$N_{дв}=Fv_p/(3,6*10^3\eta) \qquad (13.28)$$

Баланс мощности скрепера с элеваторной загрузкой:

$$N_{дв}=N_к+N_э+N_{всп} \qquad (13.29)$$

где: $N_к$ и $N_{всп}$ — мощность соответственно для привода колесного движителя и вспомогательных механизмов, кВт.

13.6 Расчет устойчивости

Устойчивость скреперов проверяется при движении их под уклон, на подъем, по криволинейным участкам пути и по косогору. Запас устойчивости во всех этих случаях должен быть не менее 1,2. Проверяют устойчивость в этих случаях так же, как это было выполнено применительно к бульдозерам.

При движении скрепера по косогору возможно опрокидывание всей машины относительно ребра опрокидывания, проходящего через опорные точки О – О (рис. 13.2) ходовой части машины с одной из ее сторон и точки, проходящей через шарнир сцепного устройства и опорную точку одного из задних колес.

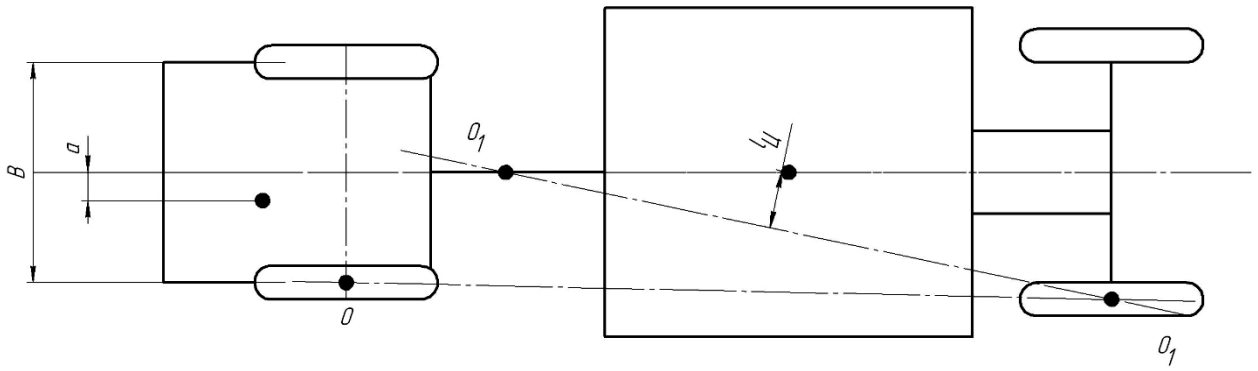


Рис.13.2 **Схема к определению устойчивости скрепера**: В – колея скрепера, м; а – смещение центра тяжести тягача, м; $l_Ц$ – плечо центра тяжести прицепа, м.

Допустимый угол поперечного уклона:

$$tg\alpha = \frac{0{,}5 \cdot B - a}{1{,}2 \cdot h_Ц} \quad (13.30)$$

Предельный угол наклона косогора:

$$tg\alpha = \frac{l_Ц}{1{,}2 \cdot h_Ц} \quad (13.31)$$

13.7. Вопросы для самоподготовки.

1. Какие грунты лучше всего разрабатывать скреперами?
2. По каким признакам классифицируют скреперы?
3. Какие детали и узлы входят в конструкцию любого скрепера?
4. Для чего хоботу скрепера придают форму арки?
5. Для чего нужен масляно-азотный компенсатор в сцепном устройстве?
6. Перечислите расчётные случаи, используемые при проверке скреперного оборудования на прочность.
7. Из каких составляющих складывается рабочий цикл скрепера?
8. Какими способами может осуществляться загрузка ковша?
9. Как может осуществляться разгрузка ковша.
10. Приведите классификацию скреперов.

14. Расчет рыхлителя

Рыхлители служат для рыхления мерзлых грунтов и пород, которые не могут разрабатываться обычными машинами для земляных работ, экскаваторами, бульдозерами, скреперами.

Общий расчет рыхлителя состоит из выбора исходных для расчета параметров и предварительного установления размеров и массы, определения основной рабочей нагрузки (расчетных сил сопротивления рыхлению), тягового расчета, вычисления необходимой мощности тягача, определения производительности, проверки устойчивости.

Предварительное определение размеров и масс машины производится на основании анализа характеристик машин-аналогов, справочных данных, эмпирических формул, опыта проектирования рыхлителей с учетом их дальнейшего развития.

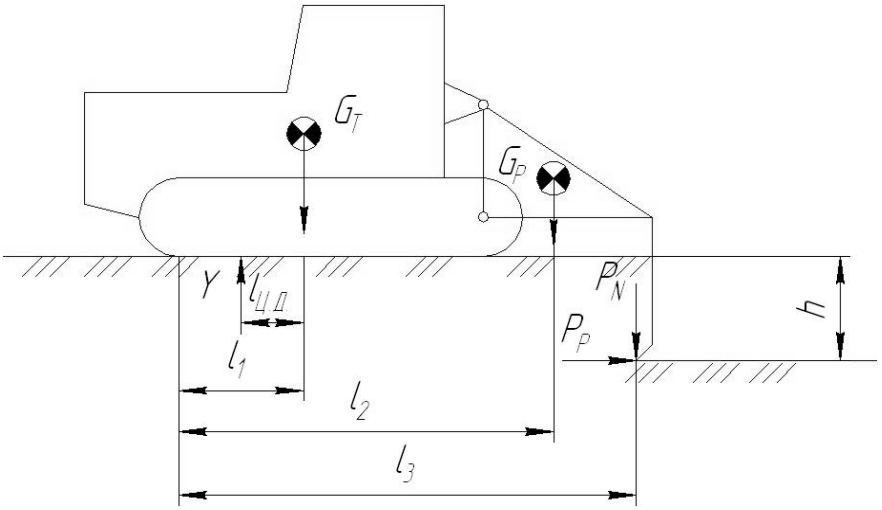


Рис. 14.1 **Схема для расчета рыхлителя**.

Определение максимальных сил заглубления и выглубления рыхлителя:

$$P_З = \frac{G_T \cdot l_1 + G_P \cdot l_2}{l_3} \quad (14.1)$$

где: G_T – вес базового трактора, Н; G_P – вес рабочего оборудования, Н; l_1, l_2, l_3 – плечи сил тяжести трактора, рабочего оборудования и силы заглубления или выглубления, м.

Условие внедрения зуба в породу:

$$P_З \geq F \cdot K_{КР} \cdot \sigma_0 \quad (14.2)$$

где: F – площадь сечения зуба рыхлителя, м^2; $K_{КР}$ – коэффициент критического напряжения грунта; σ_0 – напряжение разрушения грунта, МПа.

Среднемаксимальные касательные силы резания:

$$P = 10 \cdot C \cdot h_P^{1,35} \cdot (1 + 0{,}1 \cdot b) \cdot \left(1 - \frac{90^0 - \alpha}{180^0}\right) \cdot \beta_0 \cdot \mu \cdot \Delta \cdot z \quad (14.3)$$

где: C – число ударов динамического плотномера ДорНИИ; h_P – глубина рыхления, м; b – ширина профиля зуба, м; α – угол резания, град; β_0– коэффициент, зависящий от угла заострения зуба; μ – коэффициент, учитывающий вид резания; при блокированном резании μ = 1; при полублокированном 0,75; при свободном 0,5 – для вертикальных ножей; Δ–

коэффициент, учитывающий степень затупления зуба; Δ = 0,85…2,1; z – коэффициент, учитывающий влияние зубьев на режущем профиле; z = 0,70…0,88.

14.1. Тяговый расчет

Определение силы тяги, необходимой для преодоления суммарного сопротивления:

$$W_1 = P_P + (G_P \pm P_N) \cdot (f + i) \qquad (14.4)$$

где: P_P и P_N – касательная и нормальная силы сопротивления грунта резанию, Н; f – коэффициент сопротивления движению рыхлителя; i – уклон площадки.

Расчет выполняется для двух состояний режущей части зуба рыхлителя: острых и предельно изношенных. Большее из полученных значений должно быть меньше номинального тягового усилия рыхлителя по условию сцепления.

Тяговое усилие:

$$P_{СЦ} = G_{СЦ} \cdot \phi \cdot K_B \qquad (14.5)$$

где: $G_{СЦ}$ – сцепной вес рыхлителя, Н; φ – коэффициент сцепления; $К_В$– коэффициент использования веса по сцеплению, $К_В$ = 0,5…0,9.

Условие работоспособности рыхлителя по сцеплению:

$$W_1 \leq P_{СЦ} \qquad (14.6)$$

14.2. Производительность рыхлителя

Техническая производительность:

$$П_T = \frac{B \cdot h_P \cdot L \cdot K_Г}{\frac{L}{\upsilon} + t_П} \qquad (14.7)$$

где: В – ширина рыхления, м; h_P – глубина рыхления, м; L – длина участка, м; $К_Г$ – коэффициент влияния грунта; υ – рабочая скорость рыхлителя, м/ч; $t_П$ – время, затрачиваемое на маневрирование, ч.

Эксплуатационная производительность:

$$П_Э = П_T \cdot K_B \qquad (14.8)$$

где: $К_В$ – коэффициент использования машины по времени.

14.3 Устойчивость рыхлителя.

Устойчивость рыхлителя в рабочем положении обеспечивается при соблюдении условия:

$$l_{ЦД.} = \frac{P_P \cdot h - P_N \cdot l_3}{Y} < l_1 \qquad (14.9)$$

где Y – результирующая вертикальных реакций на рыхлитель, Н.

14.4. Вопросы для самоподготовки.

1. По каким признакам классифицируют рыхлители?
2. Перечислите типы рыхлительного оборудования.
3. Опишите конструкцию рыхлящего зуба.
4. Перечислите схемы и описания расчётных положений.
5. Из каких операций складывается рабочий цикл рыхлителя?
6. Какие машины осуществляют глубокое рыхление почвы?
7. Что такое подплужная подошва?
8. Для каких целей осуществляется рыхление грунтов?
9. Чем характеризуется качество рыхления?
10. Как можно избежать перемешивания почвенных слоев?

15. Расчет машин для гидромеханизации.

15.1. Расчет земснаряда.

Требуемый объем работ, являющийся основным фактором при выборе земснаряда (рис. 1), определяется по формуле:

$$V = 1000 \cdot Bh\ell, \qquad (15.1)$$

где V – объем разработки, м³; B – ширина разрабатываемого забоя, м; h – глубина разработки, м; ℓ – длина забоя, км.

Определение нужного количества земснарядов:

$$z = V/Q_c \qquad (15.2)$$

где z –количество земснарядов, шт; V – объем разработки, м³; Q_c – сезонная производительность земснаряда, м³/сезон.

Определение сезонной производительности земснаряда:

$$Q_c = \frac{Q_н \cdot T_c \cdot К \cdot (100 - W_п)}{100 - W_y}, \qquad (15.3.)$$

где Q_c – сезонная производительность земснаряда, м³/сезон; $Q_н$ – производительность грунтового насоса по пульпе, м³/ч; T_c – количество часов работы земснаряда в сезоне, (T_c=(1680…2200) ч); К – коэффициент использования земснаряда, (К=0,6…0,8); $W_п$ – влажность пульпы; $W_п$= 90 - 98%; W_y –условная влажность готовой продукции; W_y= 60…80%

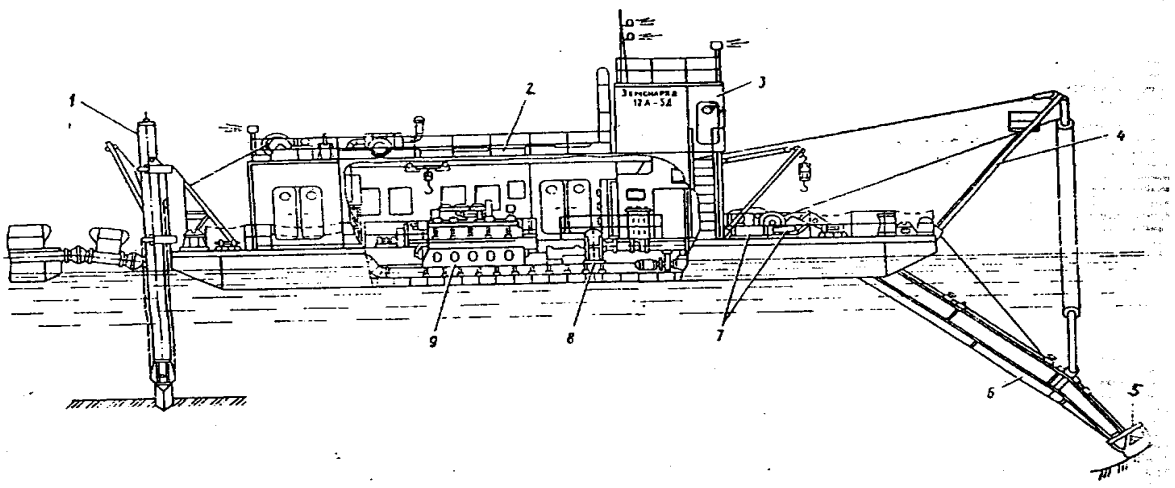


Рис.15.1. **Землесосный снаряд:** 1 – свайный аппарат; 2 – надстройка; 3 – рубка управления; 4 – стрела; 5 – рыхлитель; 6 – рама с всасывающей трубой и фрезерным рыхлителем; 7 – папильонажные и рамоподъемные лебедки; 8 – грунтовый насос; 9 – привод насоса.

Производительность грунтового насоса по пульпе:

$$Q_н = \frac{3600 \cdot \pi \cdot d_п^2}{4 \cdot V} \qquad (15.4)$$

где $d_п$ – диаметр пульпопровода, мм; V– скорость транспортирования пульпы, м/с.

Необходимый напор определяют по формуле:

$$H = \quad H_\Delta + L \cdot i \cdot k_п \qquad (15.5)$$

где H – необходимый напор, м; H_Δ – геодезическая разность отметок насоса и отвала (табл.15.1), м; L – дальность транспортирования пульпы, м; $k_п$– коэффициент увеличения потерь напора для пульпы; ***i*** –гидравлический уклон, определяемый по эмпирическому уравнению:

$$i = \frac{k_y \vartheta^2}{c \cdot R}, \qquad (15.6)$$

где ϑ – скорость движения пульпы, м/с; $к_у$ – коэффициент уклона, ($к_у$ = 0,01м/с²); R –гидравлический радиус, равный отношению сечения трубы к его периметру: R = F/p для расчетов можно брать R = $d_п$, м, , c - коэффициент, учитывающий шероховатость стенок труб, определяется по формуле:

$$c = \sqrt{\frac{R}{m}} \qquad (15.7)$$

где m – коэффициент, принимаемый для труб, бывших в употреблении, м; m = 0,012

Коэффициент увеличения потерь напора для пульпы ($k_п$) зависит от консистенции пульпы.

Таблица 15.1

Средние скорости транспортирования пульпы, м/с.

Диаметр пульпо-провода $D_п$, мм	Глины, суглинки	Супеси, мелкие и средние пески	Пески с небольшим содержанием гравия	Пески с большим содержанием гравия
250	1,7	2,0	2,5	2,8
350	2,1	2,2	3,0	3,4
400	2,3	2,6	3,6	4,0
600	2,7	3,2	4,2	4,6

Таблица 15.2

Коэффициент увеличения потерь напора для пульпы

Консистенция пульпы	1:3	1:5	1:8	1:10
$k_п$	1,6	1,5	1,3	1,2

Мощность земснаряда определяется по формуле:

$$P = P_н + P_р + P_{вс}, \qquad (15.8)$$

где Р – мощность земснаряда, кВт; $P_н$ – мощность грунтового насоса, кВт; $P_р$–мощность рыхлителя, кВт; $P_{вс}$– потери мощности на всасывание, кВт.

Отечественные земснаряды в основном комплектуются рыхлителями фрезерного типа с мощностью привода 13…175 кВт.

Мощность, расходуемая грунтовым насосом, определяют по формуле:

$$P_н = W_{уд}\ П_г /102h, \qquad (15.9)$$

где $П_г$ – количество перемещаемого грунта, м³/ч, ($П_г = 0{,}01Q_н$ по воде); η – КПД насоса, (η=0,6-0,8); $W_{уд}$ – удельный расход электроэнергии на транспортирование одного кубометра грунта, кВт·ч/м³, по данным производственных испытаний для разрабатываемых грунтов согласно задания можно принимать:

$$W_{уд} = 3(L + H_Δ), \qquad (15.10)$$

где L – дальность транспортирования, м.

15.2. Расчёт гидромонитора.

При гидромониторных работах на удельный расход и необходимое давление воды значительно влияет высота уступа (рис.15.2).

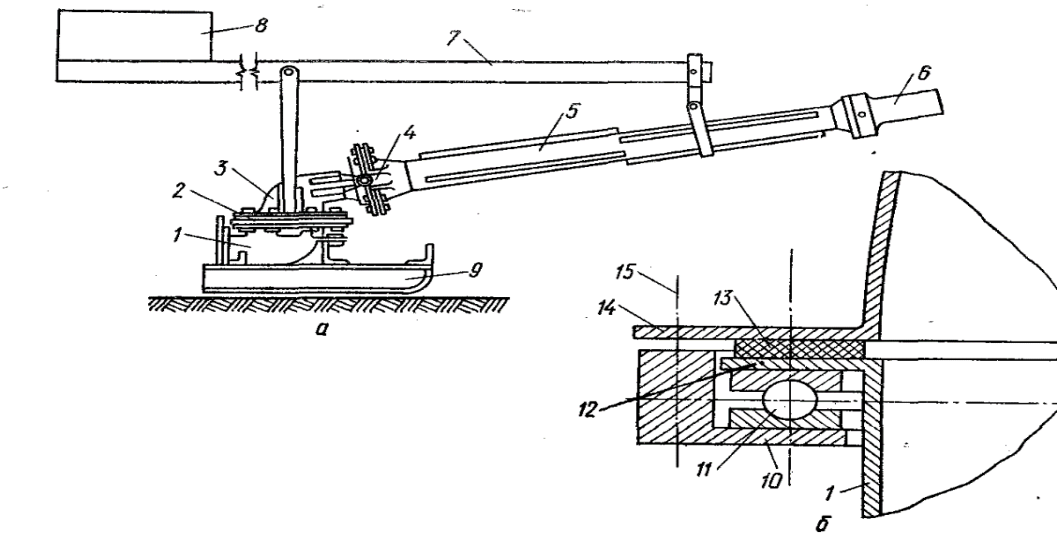


Рис. 15.2. **Гидромонитор с круговым поворотом ствола:** а – общий вид; б – схема соединения колен; 1 – нижнее колено; 2 – шарнир поворота ствола в горизонтальной

плоскости; 3 – верхнее колено; 4 – шарнир поворота ствола в вертикальной плоскости; 5 – ствол; б – насадка; 7 – водило (рычаг управления); 8 – противовес; 9 – салазки; 10 – обойма (разъемная по диаметру); 11 – подшипник упорный шариковый; 12 – фланец нижнего колена; 13 – уплотнение; 14 – фланец верхнего колена; 15 – стяжной болт.

С увеличением высоты забоя повышается интенсивность размыва, снижается удельный расход воды, уменьшается протяженность карьерных напорных трубопроводов и пульпоотводящих линий, увеличивается объем грунта, смываемый с одной стоянки гидромонитора и землесоса, уменьшается недомыв грунтов.

Удельный расход воды на отбойку грунта:

$$a_1 = P_1 / H^{0,5} \cdot V_з , \qquad (15.11)$$

где P_1 - коэффициент работы по отбойке $(м^3 \cdot м)^{0,5}$, определяется по формуле:

$$P_1 = 6 \cdot 10^{-4} \cdot H^{2,6274} \ (м^3 \cdot м)^{0,5} ; \qquad (15.12)$$

где H - необходимый напор воды, м; $V_з$ - коэффициент трудоемкости размыва забоя.

$$V_з = \xi_р \cdot \xi_в , \qquad (15.13)$$

где $\xi_р$ - коэффициент способа размыва; $\xi_в$ - коэффициент высоты уступа, определяется по зависимости:

$$\xi_в = a \cdot H_y^в \qquad (15.14)$$

где *а, в* – эмпирические коэффициенты, при размыве с верхней площадки уступа *а = 0,813, в = 0,288*; H_y – высота уступа, м.

Удельный расход воды на выгонку ($м^3/м^3$) рассчитывают по формуле:

$$a_2 = P_2 / H^{0,25} \cdot V_в , \qquad (15.15)$$

где P_2 - коэффициент работы по выгонке $(м^3 \cdot м)^{0,25}$;

$$P_2 = (3,93 \cdot B_г^2 - 5,37 \cdot B_г + 237,98) \cdot 10^{-2} , \qquad (15.16)$$

где $B_г$ – выход мелкой гальки (20…10 мм) в размываемых рыхлых отложениях, %.

Таблица 15.3

Необходимый напор воды для размыва грунтов гидромонитором

Категория крепости грунтов (пород)	Грунты (породы)	Необходимый напор при высоте уступа, м:		
		до 5	от 5 до 15	> 15
1	Предварительно разрыхленные не слежавшиеся	30…40	40…50	50…60
2	Пески мелкозернистые	30…40	40…50	50…60
	Супесь легкая	30…40	40…50	50…60
	Лесс рыхлый	40…50	50…60	60…70
	Торф разложившийся	40…50	50…60	60…70
3	Пески среднезернистые	30…40	40…50	50..60
	Супесь средняя	40…50	50…60	60…70
	Суглинок легкий	50…60	60…80	70…90
	Лесс плотный	60…70	70…80	80…100
4	Пески крупнозернистые	30…50	40…60	50…70
	Супесь тяжелая	50…70	60…80	7…90
	Суглинок средний, тяжелый и глины песчаные	70…100	80…110	90…120
5	Песчано-гравийная смесь с содержанием гравия до 25 %	40…80	50...90	60…100
	Глины полужирные с содержанием глинистых фракций 40...50 %	80…120	100...140	120…160
6	Песчано-гравийная смесь с содержанием гравия до 40 %	50…90	60…100	70…110
	Глины полужирные с содержанием глинистых фракций до 50...60 %	100…140	120…160	140…180

*К*оэффициент трудоемкости перемещения пород:

$$V_в = \xi_с \cdot \xi_у \cdot \xi_{вг}, \qquad (15.17)$$

где $\xi_с$ - коэффициент системы разработки, $\xi_с = 1$; $\xi_у$ - коэффициент уклона, $\xi_у = c / (100 \cdot i) + e$, c, e – эмпирические коэффициенты. Для системы с попутно-отступающим забоем и размывом с поверхности c = 0,186, e = 0,758; i - уклон

поверхности смыва (i = 0,015...0,060 в зависимости от состава размываемых грунтов, см. табл. 3.7). гидросмеси из забоя, организуют недомыв, $\xi_{вг}$ - коэффициент способа выгонки пород, $\xi_{вг} = 1$.

Таблица 15.4.

Необходимый расход воды на отбойку

Категория крепостипород	Коэффициент работы по отбойке, $(м^3 \cdot м)^{0,5}$	Удельные расходы воды на отбойку, $(м^3/м^3)$	
		Предельное значение	Наиболее рас-Пространенное
1	14...16	1,8...3,0	2...2,6
2	23...27	2,5...4,6	3,0...3,8
3	42...48	4,2...7,5	4,5...6
4	65...75	6...11	7...9
5	110...130	9...17	10...13
6	180...240	14...25	16...20

Таблица 15.5

Необходимый расход воды на выгонку

Крупнозернистый состав пород	Коэффициент работы по выгонке пород, $(м^3 \cdot м)^{0,25}$	Удельные расходы воды на выгонку, $(м^3/м^3)$	
		Предельное значение	Наиболее рас-пространенное
Мелкая и крупная галька отсутствует	1...1,2	0,3...0,6	0,4...0,5
Галька мелкая до1 %	2,0...2,5	0,5...0,1	0,6...0,8
Галька мелкая до 5 %, крупная до 1 %	3,0...4,0	0,8...2,0	0,9...1,2
Галька мелкая до 10 %, крупная до 2 %	5...6,5	1,5...4,0	1,6...2,6
Галька мелкая до 15 %, крупная до 3 %	7...9	2,0...5,5	1,8...4,0
Галька мелкая до 20 %, крупная до 5 %	10...14	3...7,5	3,5...6
Галька мелкая до 25 %, крупная до 7 %	18...23	5...12	6...10
Галька мелкая до 30 %, булыжник до 10 %	28...35	7...17	8...12

Коэффициент высоты уступа зависит от способа размыва. Отличительными признаками способов размыва являются расположение гидромонитора относительно разрабатываемого уступа и приемы, используемые для отделения пород от целика, определяющие порядок размыва пород в забое.

$$\xi_в = a \cdot H_y^{-в}. \qquad (15.18)$$

где *а, в* – эмпирические коэффициенты; H_y – высота уступа, м.

Таблица 15.6

Коэффициенты способа размыва

Способ размыва пород	Категория пород	Коэффициент способа размыва
Размыв с верхней площадки уступа	-	1,3
Размыв с нижней площадки уступа	-	1
Размыв с предварительным увлажнением пород	от 3 до 4 от 5 до 6	0,1...0,3 1
Размыв с механическим рыхлением	4, 5	0,3...0,402

При размыве с верхней площадки уступа *а = 0,813, в = 0,288*, с нижней площадки уступа *а =1,467, в = 0,141*.

Для размыва с предварительным увлажнением коэффициент высоты уступа находится в пределах 0,6...0,8.

При размыве с механическим рыхлением, породы отделяют от целика бульдозером или экскаватором, образуя отвалы рыхлых пород. Напорной струей осуществляют только выгонку пород из отвала, вследствие чего удельный расход воды сокращается. Коэффициент высоты уступа для этих условий равен 0,8...0,9.

Для системы с попутно-отступающим забоем и размывом с поверхности *с = 0,186, е = 0,758*; уклон поверхности смыва принимаем равным *i = 0,055*.

В соответствии с табл.3.9 и табл. 3.10 значения удельного расхода воды на отбойку песчано-гравийной смеси и удельный расхода воды на выгонку гравия из смеси соответствуют рекомендуемым значениям.

При размыве с верхней площадки уступа, *а = 0,813, в = 0,288*. При размыве с нижней площадки уступа, *а =1,467, в = 0,141*.

Для размыва с предварительным увлажнением коэффициент высоты уступа находится в пределах 0,6...0,8.

При размыве с механическим рыхлением, породы отделяют от целика бульдозером или экскаватором, образуя отвалы рыхлых пород. Напорной струей осуществляют только выгонку пород из отвала, вследствие чего удельный расход воды сокращается. Коэффициент высоты уступа для этих условий равен 0,8...0,9.

Главным отличительным признаком гидравлических систем разработки является порядок перемещения очистных выработок (забоев), который оказывает влияние на использование ударной силы струи и эффективность перемещения пород от забоя к основным транспортирующим устройствам. По этому признаку различают: системы с попутным, встречным, боковым, веерным и комбинированным забоем. Подчиненным отличительным признаком системы является направление перемещения забоя относительно восстания долины - продольная или поперечная, или относительно главного подъемного устройства - веерная или полувеерная.

Таким образом, различают следующие системы гидравлических разработок: с попутным забоем (попутно-продольная; попутно-поперечная; попутная с отступающим забоем); со встречным забоем (встречно-продольная; встречно-поперечная); с боковым забоем (боковая продольная; боковая поперечная); веерная (с полным веером; с полувеером); комбинированная.

Гидравлический расчет гидромониторов предусматривает расчет расхода воды у насадки гидромонитора, скорости вылета струи из насадки и ее диаметра, а также рабочего напора у насадки гидромонитора.

Секундный расход воды у насадки гидромонитора ($м^3/с$):

а) при отбойке пород

$$Q^{о}_{с} = W_{г} \cdot a_1 / (3600 \cdot T) ; \qquad (15.19)$$

б) при выгонке пород

$$Q^{в}_{с} = W_{г} \cdot a_2 / (3600 \cdot T) , \qquad (15.20)$$

где $W_{г}$ - суточная производительность предприятия по грунту, $м^3$; T - чистое время работы гидромонитора в течение суток, ч.

Величина $W_г$ определяется с учетом фактического времени использования гидроустановок во времени. Для гидроустановок, эксплуатируемых при разработке россыпных грунтовых залежей, коэффициент использования во времени рекомендуется принимать в пределах 0,7- 0,85.

Чистое время работы гидромонитора в течение суток

$$T = n \cdot t_{см} \cdot k_{и}, \qquad (15.21)$$

где n – число рабочих смен в сутках; $t_{см}$ - продолжительность смены, ч; $k_{и}$ - коэффициент использования гидромонитора во времени.

Таблица 15.7

Коэффициент использования гидроустановки во времени

Вид работы	Коэффициент
Сброс пульпы в водоем или отвал без устройства обвалования	0,95
Укладка грунта в отвал с устройством обвалования или в подводную часть сооружения (штабелей) или намыв свободным откосом	0,9
Намыв широкопрофильных частей сооружений (штабелей) или площадей	0,85
Намыв узкопрофильных частей сооружений (штабелей)	0,75

Скорость вылета струи из насадки (м/с) рассчитываем по формуле:

$$V_c = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \qquad (15.22)$$

где φ - коэффициент скорости, g - ускорение свободного падения, м/с^2, Н-напор, м.

Коэффициент скорости находится в пределах 0,92...0,96 и зависит от плавности перехода и качества обработки внутренней поверхности насадки. В расчетах принимаем в первом приближении значение коэффициента скорости 0,94.

Расчетный диаметр насадки:

а) на отбойку породы

$$D_o = 0{,}55 \cdot \sqrt{\frac{Q_c^o}{\sqrt{H}}} \quad ; \qquad (15.23)$$

б) на выгонку породы

$$D_в = 0{,}55 \cdot \sqrt{\frac{Q_c^в}{\sqrt{H}}} \quad . \qquad (15.24)$$

При выборе марки гидромонитора необходимо руководствоваться следующими положениями:

- поскольку в решаемой задаче не требуется использование экономических критериев, выбор гидромонитора производится по величине его производительности по воде. При этом не нужно стремиться к обеспечению заданного расхода воды одним гидромонитором. Надо иметь в виду, что в табл. 2.9 указано ориентировочное значение максимально возможной производительности, которая очень существенно меняется в зависимости от диаметра насадки и рабочего напора воды;

- если расчетный диаметр насадки не соответствует стандартным диаметрам выбранного гидромонитора, выбирают два и более других марок по параметрам суммарного водопотребления и площади поперечного сечения насадок.

Используя стандартные диаметры насадок (табл. 2.9) выбранного гидромонитора, определяем действительный рабочий напор у насадки гидромонитора (м):

а) на отбойку пород

$$H^{o}_{д} = 0{,}55^4 \cdot Q^{o}{}_{с}{}^2 / D^4 ; \qquad (15.25)$$

б) на выгонку пород

$$H^{в}_{д} = 0{,}55^4 \cdot Q^{в}{}_{с}{}^2 / D^4 . \qquad (15.\ 26)$$

Действительная скорость вылета струи из насадки (м/с) определяется:

$$V_{д} = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^{o}_{д}}. \qquad (15.27)$$

15.3. Вопросы для самоподготовки

1 Как определить длину пульпопровода?

2 Что такое путевые потери (потери напора по длине пульпопровода)?

3 Какие существуют схемы соединения грунтовых насосов?

4 Как определяется необходимый напор при выборе грунтовых насосов?

5 Как определяется удельная плотность гидросмеси?

6 Как определяется необходимый диаметр трубопровода?
7 Порядок определения местных гидравлических сопротивлений.
8 Как расшифровывается буквенная маркировка земснарядов?
9 Какие дополнительные механизмы земснаряда используют для разработки грунта?
10 Как зависит производительность земснаряда от вида разрабатываемого грунта?
11 Какие факторы влияют на определение удельного расхода воды на отбойку пород гидромониторами?
12 Какие факторы влияют на определение необходимого напора воды для размыва пород гидромонитором?
13 Что такое отбойка и выгонка пород?
14 Что такое гранулометрический состав рыхлых отложений?
15 Как определяется пористость и коэффициент пористости пород?
16 Какая крупность глинистых фракций?
17 Способы размыва горных пород гидромонитором.
18 Способы разупрочнения пород при использовании средств гидромеханизации.
19 Что такое уклон? Единицы измерения уклона.
20 Системы гидравлических разработок.
21 Выбор системы гидравлических разработок.
22 Элементы гидромонитора.
23 Параметры гидромонитора.
24 Какие факторы влияют на дальность полета струи гидромонитора?

16. Расчет двухфрезерного каналокопателя

16.1. Расчёт основных параметров

Направление вращения фрез принимаем прямым во избежание забрасывания разработанного грунта в отрываемый канал и для уменьшения мощности на трение между откосом канала и рабочим органом.

Необходимую дальность разбрасывания грунта фрезами можно определить из условия равенства площади поперечного сечения канала и поперечных площадей разбрасываемого грунта с учетом его разрыхления в процессе разработки.

Площадь поперечного сечения канала и площадь поперечного сечения разбрасываемого грунта определяется по формуле

$$(b_д + b_д + 2\,H_к\,\mathrm{ctg}\lambda)\,H_к\,k_р / 2 = 2\,l_{от}\,h_{от}. \qquad (16.1)$$

площадь поперечного сечения канала

$$A_к = (b_д + H_к\,\mathrm{ctg}\lambda)\,H_к = (0{,}25 + 1{,}2\,\mathrm{ctg}\,45)1{,}2 = 1{,}74\ м^2.$$

Отсюда необходимая дальность разбрасывания грунта

$$l_{от} = (b_д + 2\,H_к\,\mathrm{ctg}\lambda)\,H_к\,k_р / 2\,h_{от}, \qquad (16.2)$$

где $h_{от}$ – толщина разбрасываемого слоя; $k_р$ – коэффициент разрыхления.

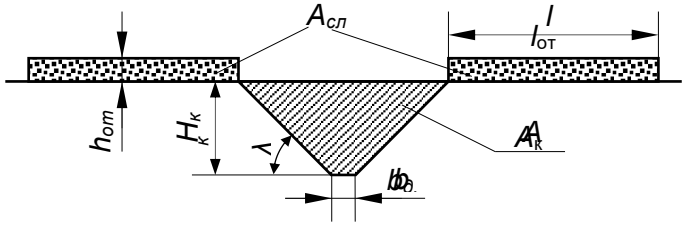


Рис. 16.1. Разработка и отбрасывание грунта.

Окружная скорость фрез:

$$v_{окр} = (1{,}3...1{,}5)\,l_{от} \qquad (16.3)$$

При инерционной разгрузке окружные скорости фрез должны находиться в пределах 8...13 м/с.

Диаметр фрезы $D_{фр}$ по концам ножей должен быть таким, чтобы обеспечить необходимый угол разгрузки θ (рис. 16.2). Угол разгрузки выбирается с таким расчетом, чтобы грунт, выбрасываемый лопаткой, не

попадал обратно в канал. Это условие выполняется при θ = 50...65°

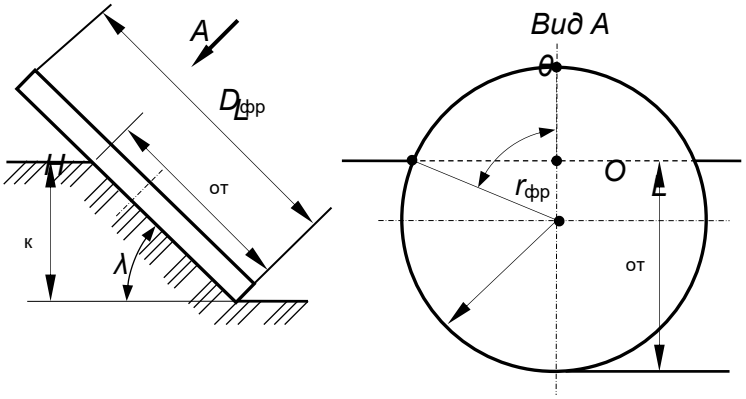


Рис. 16.2. Разработка грунта фрезой.

Длина откоса:

$L_{от}=H_к/\sin\lambda$ (16.4)

Радиус фрезы:

$r_{фр} = H_к / [(1 + \cos\theta)\sin\lambda]$ (16.5)

Шаг ножей:

$T_н = \pi D_{фр} / z_н$ (16.6)

где $z_н$ – число ножей.

Число ножей принимается таким, чтобы обеспечить подачу на нож c для минеральных грунтов – 4...8 мм и для торфяных грунтов – 6...10 мм.

Подача на нож рассчитывается по формуле:

$c = v_п T_н / v_{окр} = \pi D_{фр} П_т / (v_{окр} A_к z_н)$, (16.7)

где $П_т$ – техническая производительность каналокопателя;

$A_к$ – площадь поперечного сечения отрываемого канала.

Тогда требуемое число ножей:

$z_н = \pi D_{фр} П_т / (v_{окр} A_к c)$ (16.8)

Ширина ножей $b_н$ должна быть не менее 8 см, так как при увеличении $b_н$ до 8 см усилие резания растет, а удельное сопротивление снижается, затем остается практически постоянным.

Ширину фрезы определяем по формуле:

$b_{фр} = D_{фр}/(15…20)$ (16.9)

Принятое значение $b_{фр}$ должно удовлетворять условию размещения фрез в канале (рис. 16.3).

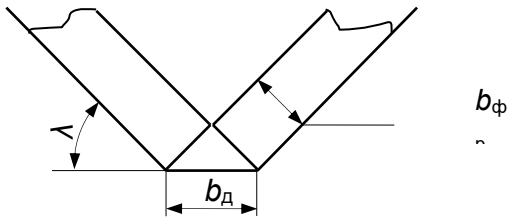


Рис. 16.3. Размещение фрез в канале.

Края фрез не будут соприкасаться, если выполняется данное условие:

$$b_{фр} \le b_д/(2\sin\lambda) \qquad (16.10)$$

При проектировании каналокопателей, предназначенных для прокладки каналов в торфяных грунтах с большим содержанием древесных остатков, может предусматриваться конструкция фрезы с гребенчатыми ножами, составленными из набора отклоненных в сторону резцов. Гребенчатая конструкция ножей обеспечивает лучшее перерезание захороненной древесины. в этом случае расчётной величиной ширины ножей является не ширина отдельного резца, а величина $b_н$, показанная на рис. 17.4.

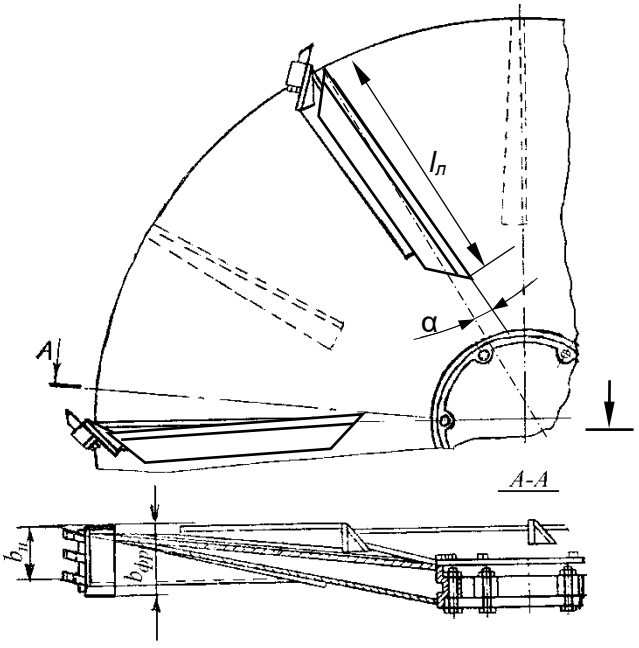


Рис. 16.4. Конструкция фрезы с гребенчатыми ножами.

Геометрия режущей части ножей показана на рис. 16.5.

Оптимальный угол резания ножа, прорезающего узкие щели в переувлажненных грунтах, $\alpha = 55...65$ °, задний угол $\beta = 15...25$ °.

Длина ножей $l_н$, измеряемая в радиальном направлении (рис. 16.5), принимается равной 0,1...0,2 м.

Положение лопатки и величина угла отклонения $\alpha_л$ от радиального направления влияют на скорость перемещения грунта вдоль лопатки. увеличение угла $\alpha_л$ ограничивается возможностью защемления грунта между лопаткой и поверхностью забоя. Поэтому принимают $\alpha_л = 20...30°$, хотя существуют конструкции и с $\alpha_л = 0$ (рис. 16.4).

Ширина лопаток $b_л$ принимается меньше ширины ножей и рассчитывается по формуле:

$$b_л = b_н - 0{,}02 \qquad (16.11)$$

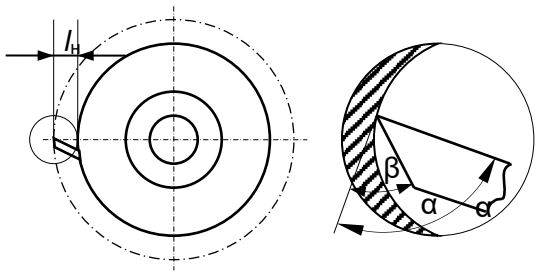


Рис. 16.5. Геометрия режущей части ножа.

При известной ширине лопаток $b_л$ длину их определяют из условия обеспечения заданной производительности по выносной способности, т.е. при известных размерах лопатки $b_л$ и $\alpha_л$, числе лопаток $z_л$, угловой скорости фрезы ω должен быть обеспечен выброс разрыхленного грунта, поступающего на лопатки. При этом лопатки должны обеспечивать производительность $П_л$, которая определяется по формуле

$$П_л = П_т - П_н, \qquad (16.12)$$

где $П_н$ – техническая производительность, обеспечиваемая ножами одной фрезы.

$$П_л = b_л\, l_л \cos\alpha_л\, \omega\, [r_л - (l_л \cos\alpha_л)/3]\, k_н / k_р. \qquad (16.13)$$

Преобразуя данное выражение, получим:

$$(l_л^2\, b_л \cos^2\alpha_л\, \omega\, k_н / 3k_р) - (l_л\, b_л\, r_л \cos\alpha_л\, \omega\, k_н / k_р) + П_л = 0. \qquad (16.14)$$

При этом $П_л$ можно найти из выражения:

$$П_л = П_т - 2H_к b_н v_п / \sin \lambda \qquad (16.15)$$

Значение $k_н = 0{,}1...0{,}2$. Скорость рабочего передвижения $v_п$ рассчитывается по формуле:

$$v_п = П_т / A_к \qquad (16.16)$$

Угловую скорость фрез ω найдем по формуле:

$$\omega = 2\, v_{окр} / D_{фр} \qquad (16.17)$$

$$r_л = (D_{фр} / 2) - l_н \qquad (16.18)$$

16.2. Расчет мощности на привод рабочего органа и действующих сил.

В общем виде мощность на привод рабочего органа каналокопателей определяется по следующему выражению:

$$P_{р.о} = (P_к^н + P_к^л + P_р + P_{под} + P_{тр}) / \eta_{р.о}, \qquad (16.19)$$

где $P_к^н$, $P_к^л$, $P_р$, $P_{под}$, $P_{тр}$ – соответственно мощности на копание грунта ножами, на копание лопатками, на разгон грунта, на подъем грунта и трение;

$\eta_{р.о}$ – к.п.д. рабочего органа, $\eta_{р.о} = 0{,}7...0{,}8$.

Мощность на копание грунта ножами определяется выражением:

$$P_к^н = 2k_1 П_н = 2\, k_1 b_н l_{от} v_п, \qquad (16.20)$$

где k_1 – удельное сопротивление грунта копанию.

Так как толщина срезаемой стружки является величиной переменной (рис. 17.6), для определения k_1 необходимо определить среднюю толщину стружки. По аналогии с роторным траншеекопателем

$$\delta_{ср} = c \sin(\varphi_к / 2); \qquad (16.21)$$

$$c = v_п T_н / v_{окр}; \qquad (16.22)$$

$$\varphi_к = 90 + \varphi_0; \qquad (16.23)$$

$$\varphi_0 = \text{arc}\sin((l_{от} - r_{фр}) / r_{фр}) \qquad (16.24)$$

Для двухфрезерных каналокопателей значение k_1 рассчитывается по выражению:

$$k_1 = k\, \delta_{ср}^{-e}\, k_\alpha\, k_b\, k_\varphi\, k_г, \qquad (16.25)$$

где k – коэффициент сопротивления копанию стружки толщиной 1см; $\delta_{ср}$ – фактическая средняя толщина стружки, см; e – показатель степени, принимаемый для минеральных грунтов 0,4, для торфяных – 0,33; k_α, k_b, k_φ, $k_г$ – соответственно коэффициенты, зависящие от угла резания α, ширины ножа $b_н$, угла контакта $\varphi_к$, числа ударов плотномера $C_{уд}$.

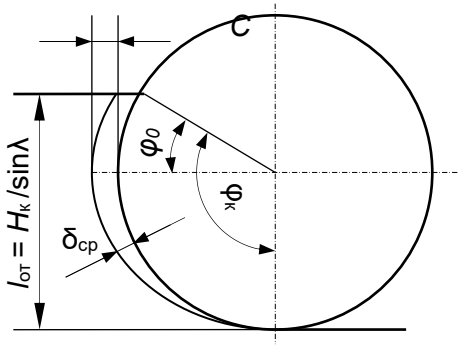


Рис. 16.6. Определение средней толщины стружки.

При наличии в грунте погребенной древесины значения k_1 следует увеличить в 1,5...2 раза.

Мощность на копание лопатками определяется по формуле:

$$P_к^л = \Delta\, k_1\, П_т\, (A_к - A_н)/A_к. \qquad (16.26)$$

Площадь канала, вырезаемая ножами $A_н$, рассчитывается по формуле:

$$A_н = 2\, l_от\, b_фр \qquad (16.27)$$

Мощность на разгон грунта P_p определяется по формуле:

$$P_р = П_т\, \rho\, v_{окр1}^2/2, \qquad (16.28)$$

где $v_{окр1}$ – окружная скорость радиального сечения транспортируемого фрезой грунта, ориентировочно $v_{окр1} = (0{,}8...0{,}9)v_{окр}$.

Мощность на подъем грунта вычисляется по формуле:

$$P_п = P_п^н + P_п^{обр}, \qquad (16.29)$$

где $P_п^н$ – мощность на подъем грунта, вырезаемого ножами;

$P_п^{обр}$ – мощность на подъем обрушиваемого грунта.

Мощность на подъем грунта определяется по формуле:

$$P_п = П_т\, \rho\, g H_п, \qquad (16.30)$$

где $H_п$ – высота подъема грунта, $H_п$ = 0,5 $H_к$ для двухфрезерного каналокопателя.

Мощность на трение о поверхность забоя определяется по формуле:

$$P_{тр} = f_2 \, П_т \, \rho v_{окр}^2/2, \qquad (16.31)$$

где f_2 – коэффициент трения грунта о грунт.

На рабочий орган каналокопателей данного типа действуют силы сопротивления копанию грунта ножами; силы, действующие на двухотвальный клин; силы сопротивления копанию зачистным отвалом. Первые составляющие можно разложить на касательную и нормальную реакции. Касательная реакция F_τ, действующая со стороны грунта на фрезы и лежащая в плоскости вращения, определяется по формуле:

$$F_\tau = (P_к^н + P_к^л + P_р + P_{под} + P_{тр})/ v_{окр}. \qquad (16.32)$$

Нормальная составляющая вычисляется по соотношению:

$$F_n = \varepsilon F_\tau, \qquad (16.33)$$

где $\varepsilon = 0{,}4...0{,}8$.

Точка приложения реакции F_τ и F_n находится на высоте $H_к/3$ от дневной поверхности, что примерно соответствует углу $0{,}7\varphi_к$, показанному на рис. 16.7.

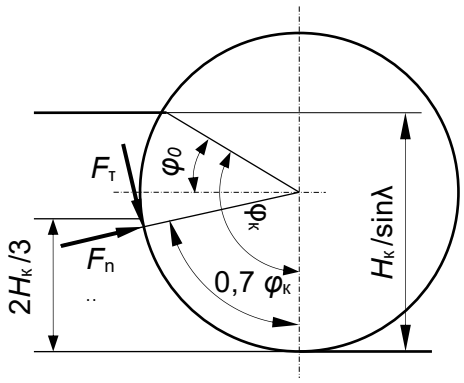


Рис. 16.7. **Определение точки приложения реакции грунта.**

Дно канала окончательно формируется зачистным отвалом. Для расчетов принимается, что отвал срезает толстую стружку треугольного сечения (рис. 16.8).

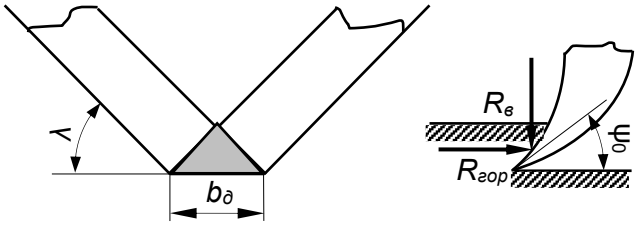


Рис. 16.8. **Определение реакций, действующих на зачистной отвал.**

Горизонтальная реакция $R_{гор}$ определяется по формуле:

$R_{гор} = (0{,}35…0{,}80)\ k_1\ b_д{}^2 / 2\text{ctg}\lambda.$ (16.34)

Вертикальная составляющая реакция $R_{гор}$ определяется по формуле:

$R_в = R_о{}^г\ \text{ctg}\ \psi_о,$ (16.35)

где $\psi_о$ – угол наклона касательной к нижней точке отвала, принимаем $\psi_о = 40^о$.

На двухотвальный клин также действуют реакции грунта. Эти реакции можно определить по эмпирической формуле:

$F_г = F_г^{кфн} A / A_{кфн},$ (16.36)

где $F_г^{кфн}$ – горизонтальная реакция, действующая на двухотвальный клин каналокопателя; $A_{кфн}$ – площадь поперечного сечения канала, отрываемого каналокопателем; A – площадь канала поперечного сечения, разрабатываемого проектируемым каналокопателем.

Вертикальная составляющая, действующая на двухотвальный клин, рассчитывается по формуле:

$F_в = F_в^{кфн} A / A_{кфн},$ (16.37)

где $F_в^{кфн}$ – вертикальная реакция, действующая на двухотвальный клин каналокопателя.

16.3. Вопросы для самоподготовки.

1. Классификация каналокопателей и требования, предъявляемые к ним.
2. Классификация каналокопателей с ротационными рабочими органами.
3. Классификация ротационных рабочих органов.
4. Рабочий процесс двухфрезерных каналокопателей.
5. Рабочий процесс плужно-фрезерных каналокопателей.

6. Рабочий процесс шнекороторных каналокопателей.

7. Каналокопатели с комбинированными рабочими органами. Виды комбинированных рабочих органов.

8. Плужные каналокопатели. Их классификация и назначение, Преимущества и недостатки.

9. Понятия о способах прокладки каналов с применением новых видов энергии.

10. Производитель каналокопателей.

17. Расчет дренажно-кротовой машины

Дренажно-кротовая машина (рис. 17.1) состоит из базовой машины *1*, гидроцилиндров *2*, ножа *3*, дренера *4*.

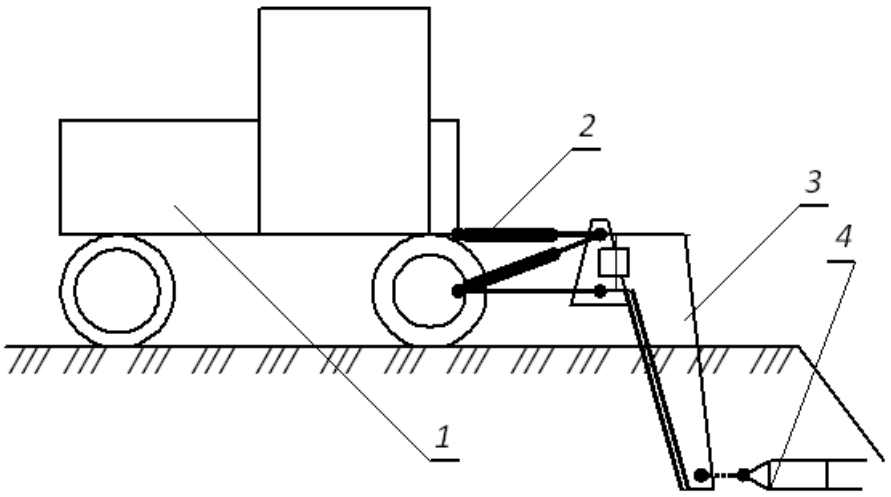


Рис. 17.1. **Схема дренажно-кротовой машины:**

1 – базовая машина; 2 – гидроцилиндры; 3 – нож; 4 – дренер.

17.1. Расчет основных параметров машины

Угол резания φ принимается в пределах 85…70° для минеральных грунтов и 100…130° для торфяных. В задании на проектирование указано, что машина предназначена для прокладки кротовины в грунтах 1-й и 2-й категории.

Длина режущей части ножа $l_р$ зависит от угла резания ψ и глубины дренирования $h_д$:

$l_р = (h_д + d/2) \cos(\psi - 90°)$. (17.1)

Угол заострения ножа $\gamma_Н$ для торфяных грунтов принимается в пределах 55…60°.

Угол заострения дренера 2γ для торфяных грунтов равен 35…50°.

Угол конусности задней части дренера γ_3 равен 20…25°.

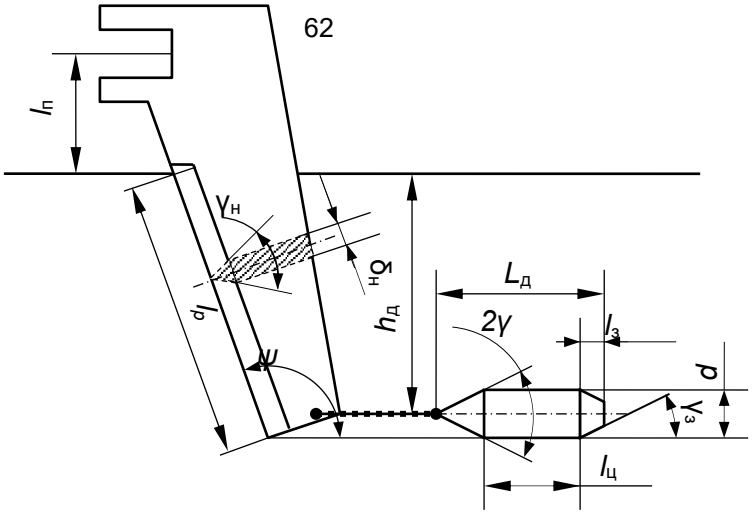


Рис. 17.2. Схема рабочего органа.

Длина цилиндрической части дренера определяется по формуле:

$l_ц = (1{,}5…2)\, d$, (17.2)

где d – диаметр дрены (дренера).

Длину задней части дренера l_3 рекомендуется принимать в пределах 25…50 мм.

Длина дренера:

$L_д = l_з + l_ц + d/(2\ \mathrm{tg}\gamma)$ (17.3)

17.2. Тяговый расчет.

Определим силу сопротивления передвижению рабочего органа:

$F_Р = F_г + F_д$, (17.4)

где $F_г$ – горизонтальная составляющая сопротивления резанию грунта ножом; $F_д$ – сопротивление протаскиванию дренера.

По эмпирической зависимости:

$F_г = 0{,}01\, C_1 h_д^{\,n}$. (17.5)

где: C_1 и n - коэффициенты.

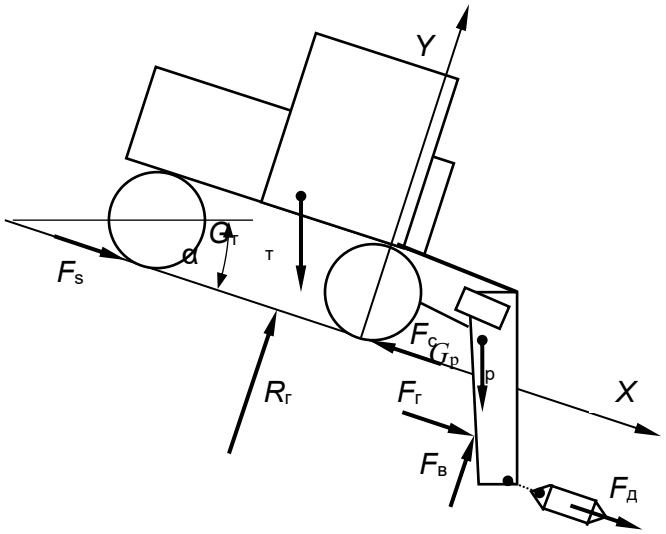


Рис. 17.3. **Силы, действующие на дренажно-кротовую машину.**

Расчет $F_д$ выполняется по формуле:

$$F_д = k_с \pi d^2/4 + k_л \pi d l_ц, \qquad (17.6)$$

где $k_с$ – удельное сопротивление смятию грунта дренером, равное 70…90 кПа.

Взяв сумму проекции всех сил на ось Y (см. рис. 18.3), найдем

$$R_г = G_т \cos\alpha + G_р \cos\alpha - F_в, \qquad (17.7)$$

где $G_т$ – сила тяжести базовой машины, кН; α – угол наклона поверхности грунта; $G_р$ – сила тяжести рабочего оборудования; $F_в$ – вертикальная составляющая сила резания грунта ножом.

$$F_в = F_г \operatorname{tg}(\psi - 90°) \qquad (17.8)$$

Суммарное тяговое сопротивление $F_с$ численно равно необходимой силе тяги $F_т$. Выражение для расчета $F_т$ получим, спроектировав все силы на ось X:

$$F_т = F_s + G_т \sin\alpha + G_р \sin\alpha + F_г + F_д, \qquad (17.9)$$

где F_s – сила сопротивления передвижению базовой машины.

Она определяется по формуле:

$$F_s = f_0 R_г,$$

где f_0 – коэффициент удельного сопротивления передвижению.

Проверим правильность выбора базовой машины по условиям сцепления. Должно соблюдаться следующее условие:

$$F_{сц} \geq F_{т}, \qquad (17.10)$$

где $F_{сц}$ – предельная сила тяги по сцеплению.

сила тяги по сцеплению определяется по формуле

$$F_{сц} = \varphi_{сц} R_{г}, \qquad (17.11)$$

где $\varphi_{сц}$ – коэффициент сцепления гусениц с грунтом.

Определим возможную рабочую скорость передвижения:

$$v_{р} = P_{п}/F_{с}, \qquad (17.12)$$

где $P_{п}$ – мощность, которая может быть реализована на передвижение машины.

$$P_{п} = (P_{дв} - P_{доп})\eta_{тр}\eta_{г}\eta_{б}, \qquad (17.13)$$

где $P_{дв}$ – номинальная мощность двигателя, кВт; $P_{доп}$ – мощность, необходимая на привод дополнительных устройств; $\eta_{тр}$ – к. п. д. трансмиссии; $\eta_{г}$ – к. п. д. ходового устройства; $\eta_{б}$ – к. п. д., учитывающий потери мощности при частичном буксовании.

17.3. Вопросы для самоподготовки.

1. Общие требования к дренажным машинам.
2. Операции, выполняемые при устройстве закрытого горизонтального дренажа.
3. Назначение и классификация машин для устройства закрытого горизонтального дренажа.
4. Рабочие органы дренажных машин.
5. Машины для строительства дренажа траншейным способом.
6. Узкотраншейные дреноукладчики, конструкция, основные свойства.
7. Машины для строительства дренажа бестраншейным способом.
8. Машины для устройства кротового дренажа. Классификация, устройство, назначение и область применения.
9. Машины для строительства щелевого дренажа. Назначение и область применения.
10. Производительность дреноукладочных машин.

18. Расчет каналоочистителей непрерывного действия.

Рабочими органами каналоочистителей непрерывного действия являются: многоковшовые цепные, многоковшовые роторные, скребковые цепные, шнековые, фрезерные, землесосные, щеточные, газодинамические, комбинированные.

При выполнении очистки каналов рабочий орган машин данной группы устанавливается в нужное (рабочее) положение относительно канала и приводится в действие, а каналоочиститель начинает перемещаться с рабочей скоростью вдоль канала, обеспечивая тем самым очистку или профилирование канала. Часто эти машины могут использоваться также для обработки кюветов, водоводных лотков, откосов дамб и дорог.

18.1. Расчет каналоочистителей с цепным рабочим органом

Исходными данными при проектировании рабочего органа являются размеры канала, толщина наносов, их характеристика и техническая производительность машины. Техническая производительность ($П_т$) по выносной способности определяется по формуле:

$$П_т = \frac{V_к \cdot z_p \cdot k_н}{k_p} \qquad (18.1)$$

где: $V_к$ – геометрическая вместимость ковша; $z_р$ – частота разгрузок.

При жестко направляемой цепи, угле наклона рабочего участка цепи к горизонту (угле наклона рабочего органа) больше 40° и при отсутствии налипания значение ($k_н$) можно определить по таблице 1.

Таблица 18.1

Значения коэффициента наполнения ковша для траншейных экскаваторов в различных грунтовых условиях

Категория грунта	I	II	III	IV
Коэффициент наполнения $k_н$	1,25	1,15	1,05	0,9

Значение ($k_р$) принимается по таблице 2, ($z_р$) предварительно назначается в пределах 0,8…1,5 $с^{-1}$. Далее определяется в миллиметрах *шаг цепи* ($t_ц$) рабочего органа каналоочистителя:

$$t_ц = (20…25) \cdot \sqrt[3]{V_к} \qquad (18.2)$$

Далее определяется шаг ковшей ($Т_к$), для чего предварительно назначается скорость цепи в пределах 0,8…1,4 м/с. Тогда:

$$Т_к = \frac{v_ц}{z_p} \qquad (18.3)$$

Расчетная высота ковша ($h_к$) для каналоочистителя определяется по соотношению:

$h_к = (3,5…4,5)\ t_ц$ (18.4)

Радиус днища ковша ($R_к$) определяется по зависимости:

$R_к = (1,5…1,8)\ h_к.$ (18.5)

У каналоочистителей, работающих, как правило, во влажных налипающих грунтах, обеспечивается принудительная выгрузка грунта подвижной заслонкой. В связи с этим радиус днища ковша принимается примерно равным ($h_к$), а высота заслонки ($h_з$) в миллиметрах задается с учетом обеспечения необходимого зазора между корпусом ковша и заслонкой.

$h_з = h_к – (12…18)$ (18.6)

Длина ковша ($l_к$) каналоочистителя находится:

$l_к \approx h_к + 0,5t_ц$ (18.7)

Расчетная ширина ковша ($b_к$) принимается:

$b_к = (6,0…6,5)\ t_ц$ (18.8)

Уравнение баланса мощности для каналоочистителей с активным рабочим органом записывается в следующем виде:

$N = N_{ро} + N_{пер} + N_{всп}$ (18.9)

где: N – необходимая мощность двигателя; $N_{ро}$, $N_{пер}$, $N_{всп}$ – мощности на привод рабочего органа, на передвижение, на привод вспомогательных механизмов и систем, приведенные к валу двигателя.

Расчет ($N_{ро}$) выполняется по уравнению:

$$N_{ро} = \frac{N_к + N_п + N_{оч} + N_{тр}}{\eta_{ро} \cdot \eta_{трр}} + \frac{N_{от}}{\eta_{от} \cdot \eta_{тр}} \qquad (18.10)$$

где: $N_к$, $N_п$, $N_{оч}$, $N_{тр}$, $N_{от}$ – мощности соответственно на копание грунта, на подъем грунта, на очистку ковшей, на трение грунта о грунт, на отбрасывающее грунт устройство;

$\eta_{р.о}$ – к.п.д. рабочего органа. Для ковшовой цепи $\eta_{р.о}$ = 0,6…0,7, для цепи, перемещающейся по направляющим, $\eta_{р.о}$ = 0,5…0,55, для скребковой цепи $\eta_{р.о}$ = 0,4…0,5; $\eta_{трр}$ – к.п.д. трансмиссии привода рабочего органа; $\eta_{от}$ – к.п.д. отбрасывающего устройства. Для ленточного транспортера и лопастного метателя $\eta_{от}$= 0,8…0,85; $\eta_{тр}$ – к.п.д. трансмиссии привода отбрасывающего устройства.

Значение ($N_к$) находится по формуле:

$N_к = k_1 \cdot П_т$ (18.11)

где k_1 – удельное сопротивление копанию грунта, кПа.

Мощность на подъем грунта рассчитывается по формуле:

$N_п = П_т \cdot \rho \cdot g \cdot H_п$ (18.12)

где: ρ – плотность грунта, т/м^3.

$H_п$ – расчетная высота подъёма, которая обычно складывается из двух составляющих: высоты подъема центра тяжести сечения грунта в канале до дневной поверхности ($H_{пк}$), то есть, до бровки канала, и высоты подъема над бровкой канала (H_0). Для многоковшовых каналоочистителей величиной (H_0) является расстояние от уровня бровки канала до центра ковша, находящегося в положении, соответствующем началу выгрузки.

Расчет ($H_{пк}$) зависит от варианта схемы очистки канала, так как каналоочиститель может перенастраиваться или проектироваться для очистки только дна, одного откоса, дна и откоса или для полнопрофильной очистки.

При очистке дна площадь сечения наносов ($A_н$) определяется по формуле:

$A_н = h_н \cdot b_д$ (18.13)

При очистке одного откоса:

$$A_н = h_н \cdot l_{от} \quad (18.14)$$

При очистке откоса и дна:

$$A_н = h_н \cdot (l_{от} + b_д) \quad (18.15)$$

При очистке обоих откосов и дна:

$$A_н = h_н \cdot (2\, l_{от} + b_д) \quad (18.16)$$

Высотой подъема грунта до дневной поверхности является высота подъема центра тяжести площади соответствующего сечения, причём при полнопрофильной очистке необходимо учесть то, что грунт, снимаемый с дальнего откоса, сначала опускается на дно и только затем поднимается к бровке. Поэтому с учетом изложенного мощность на подъем грунта рассчитывается по следующим формулам:

При очистке дна:

$$N_п = П_т \cdot \rho \cdot g\, (H_к + H_0) \quad (18.17)$$

При очистке одного откоса:

$$N_п = П_т\, \rho\, g\, (0{,}5H_к + H_0) \quad (18.18)$$

При очистке одного откоса и дна:

$$N_п = П_т\, \rho\, g H_к\, h_н\, ((H_0 + H_к/2)\, l_{от} + (H_0 + H_к)\, b_д)/A_н \quad (18.19)$$

При очистке обоих откосов и дна:

$$N_п = П_т\, \rho\, g\, ((0{,}5H_к\, l_{от}\, h_н)/A_н + (H_к\, h_н\, (b_д + l_{от}))\, /A_н + H_0) \quad (18.20)$$

Мощность на очистку ковшей ($N_{оч}$) рассчитывается, если предусмотрена принудительная выгрузка грунта из ковшей. Расчет выполняется по формуле:

$$N_{оч} = (b_к + 2\, h_к)\, f_{оч}\, v_ц\, /\eta_{оч}, \quad (18.21)$$

где $f_{оч}$ – удельное усилие сдвиганию грунта, $f_{оч}$ = 4…6 кН/м для липких и влажных грунтов, $f_{оч}$ = 2…4 кН/м для грунтов средней липкости; $\eta_{оч}$ – к.п.д. очистителя, $\eta_{оч}$ = 0,6…0,7.

Потери мощности на трение грунта по откосу ($N_{тр}$) рассчитывается только для скребковых рабочих органов.

При очистке одного откоса:

$$N_{тр} = 0{,}5 \cdot П_т\, \rho\, g\, f\, H_к\, \mathrm{ctg}\, \lambda \quad (18.22)$$

где f – коэффициент трения грунта о грунт, λ – угол откоса, град.

При очистке откоса и дна канала:

$$N_{тр} = П_т \rho g f h_н (b_д^2 + H_к \cdot \text{ctg}\, \lambda \cdot (l_{от} + b_д)) / 2A_н. \quad (18.23)$$

При очистке двух откосов и дна с учётом того, что угол наклона откоса к горизонту обычно близок к 45° и в этом случае сила трения грунта о дальний откос уравнивается скатывающей силой, мощность на перемещение грунта вниз по откосу можно принимать равной нулю. Тогда уравнение расчета мощности на трение грунта о грунт будет иметь следующий вид:

$$N_{тр} = П_т \rho g f h_н ((b_д + l_{от}) b_д + H_к \cdot \text{ctg}\, \lambda \cdot l_{от})/2A_н. \quad (18.24)$$

Мощность на отбрасывание грунта определяется:

$$N_{от} = \frac{П_т \cdot \rho \cdot v_ц}{7{,}2 \cdot 10^6} \quad (18.25)$$

По мощности ($N_{ро}$) предварительно определяется мощность ($N_б$) базовой машины:

$$N_б = (1{,}3 \ldots 1{,}5) N_{ро} \quad (18.26)$$

Усилие в ковшовой или скребковой цепи ($F_ц$) определяется по уравнению:

$$F_ц = \frac{N_к + N_п + N_{оч} + N_{тр}}{v_ц \cdot \eta_{ро}} \quad (18.27)$$

Для выполнения расчетов необходимо определить составляющие ($F_ц$): горизонтальную ($\Sigma R_г$) и вертикальную ($\Sigma R_в$). Они рассчитываются следующим образом:

$$\Sigma R_г = F_ц \cos \lambda \quad (18.28)$$

$$\Sigma R_в = F_ц \sin \lambda \quad (18.29)$$

Против хода каналоочистителя направлена инерционная сила ($F_{вн}$), препятствующая внедрению ковшей или скребков в грунт. Она определяется по формуле

$$F_{вн} = \varepsilon N_к / v_ц, \quad (18.30)$$

где ε – коэффициент соотношения между касательной и нормальной составляющими силы на копание грунта. Для скребковых ε = 0,6…0,9, для ковшовых ε = 0,15…0,45.

Скребковые каналоочистители могут иметь бермоочистители, предназначенные для отодвигания вынутого из канала грунта от бровки канала. Отвал бермоочистителя устанавливается под углом ($\alpha_о$) к направлению движения каналоочистителя ($\alpha_о$ = 45…50 °). Сопротивление перемещению бермоочистителя ($F_б$) по аналогии с подобного рода рабочими элементами можно определить по выражению:

$$F_б = V_{пр}\, \rho g\, (f_2 \sin(\alpha_о + \varphi_с) + f_1 \cos\alpha_о - \cos\varphi_с), \qquad (18.31)$$

Где $V_{пр}$ – объем призмы волочения, м^3; $\varphi_с$ – угол трения грунта о сталь;

f_1 – коэффициент трения грунта о сталь.

Расчет ($V_{пр}$) можно выполнить по формуле:

$$V_{пр} = П_т\, L_{отв} / v_п, \qquad (18.32)$$

где $L_{отв}$ – длина отвала, принимаемая в пределах 1,0…1,5 м.

Тяговое суммарное сопротивление ($F_с$) каналоочистителя с навесным цепным рабочим оборудованием, совершающего очистку канала, рассчитывается по формуле:

$$F_с = F_б + F_г + F_{вн} \qquad (18.33)$$

где $F_г$ – сила сопротивления передвижению машины:

$$F_г = (G_т + G_{но} + \Sigma R_в)\cdot(f_м + i) \qquad (18.34)$$

$G_т$ – сила тяжести базового трактора, кН; $G_т$ – сила тяжести навесного оборудования, кН; i – расчетный продольный уклон местности, для мелиоративных машин принимается в пределах 1…5°.

18.2. Расчет каналоочистителей с фрезерным рабочим органом.

Для очистки дна и частично откосов используется фреза, с осью вращения, наклоненной к оси канала и к горизонту (рис. 18.1).

Фреза ножами отделяет грунт, срезает растительность и выбрасывает их за пределы канала. В зависимости от поперечного сечения канала фрезу можно поворачивать вокруг вертикальной оси. Возможна очистка каналов параболического сечения.

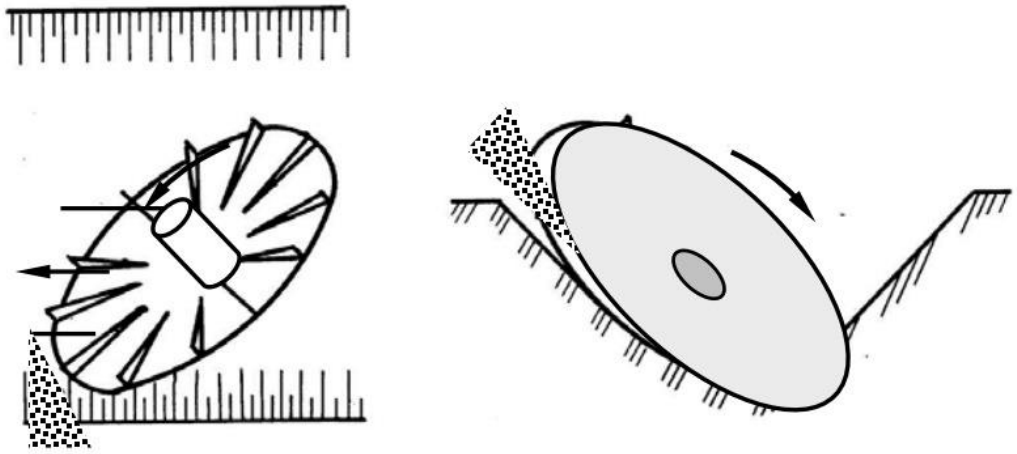


Рис.18.1 **Схема фрезы с осью вращения, наклоненной к оси канала и к горизонту.**

Очищают дно каналов от наносов при передвижении трактора: при этом фреза своими лопастями отрезает грунт от массива, открылки зачерпывают часть наносов, которые продвигаются по вдоль открылков к фрезе и затем фрезой выбрасываются из канала через окно на берму, противоположную той, по которой перемещается машина. Рабочий орган полунавесной, опирающийся на кожух.

Диаметр кожуха определяется из условия не подрезания откосов канала.

Определяем диаметр кожуха:

$D_к \leq в_д / \sin \lambda$ (18.35)

где: $в_д$ – ширина канала по дну, м; λ - угол наклона откоса.

Определяем диаметр фрезы:

$$D_{фр} = D_к - 2\cdot(c_1+c_2) \quad (18.36)$$

где: c_1 – толщина стенки кожуха, c_1 = 4…6 мм; c_2 – зазор между кожухом и ножом, c_2 = 8…12 мм.

Определяем окружную скорость фрезы:

$$v_{окр} = (1{,}5…2{,}5) \cdot l_{отб} \quad (18.37)$$

где $l_{отб}$ - дальность разбрасывания грунта фрезой, $l_{отб}$ = 6…15 м.

Определяем угол контакта:

$$\alpha_к = 2\cdot\arccos\cdot \left(\frac{D_{фр}-2\cdot h_н}{D_{фр}}\right) \quad (18.38)$$

где: $h_н$ – толщина наносов, м.

Площадь поперечного сечения снимаемых фрезой наносов:

$$A_с = 0{,}5 \cdot R_ф^2 \cdot \alpha_к - (R_ф - h_н) \cdot R_ф \cdot \sin(\alpha_к/2) \qquad (18.39)$$

где: $R_ф$ – радиус фрезы, м.

Скорость передвижения при очистке фрезой:

$$v_{п.ф} = П_т / A_с \qquad (18.40)$$

где: $П_т$ – техническая производительность, $м^3$/ч.

Скорость передвижения при очистке фрезой и открылками:

$$v_{п.от} = П_т / (A_с + A_{от}) \qquad (18.41)$$

где: $A_{от}$ – площадь наносов, разрабатываемых открылками.

Общая площадь наносов:

$$A_н = (b_1 + b_2) / 2 \cdot h_н \qquad (18.42)$$

где: b_1, b_2 – соответственно длина верхней и нижней части наносов, м.

Площадь наносов, разрабатываемых открылками:

$$A_{от} = A_н - A_с \qquad (18.43)$$

Угол между векторами поступательной и окружной скоростями:

$$\gamma = \text{arctg}\,(v_п / v_{окр}) \qquad (18.44)$$

где: $v_{окр}$ – окружная скорость фрезы, м/с.

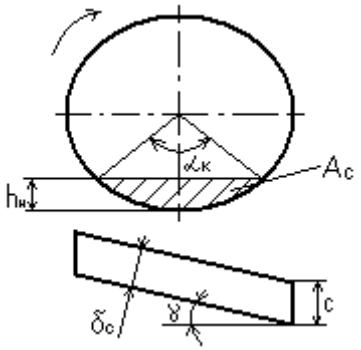


Рис. 18.2. **Параметры стружки.**

Шаг между ножами фрезы:

$$T = v_п \cdot (\pi \cdot D_{фр} / v_{окр}) \qquad (18.45)$$

Число ножей:

$$z_н = (v_п \cdot \pi \cdot D_{фр}) / c \cdot v_{окр} \quad (18.46)$$

Подача на нож:

$$c = v_п \cdot (\pi D_{фр} / v_{окр} \cdot z_н) \quad (18.47)$$

Толщина стружки:

$$\delta_c = c \cdot \cos\gamma \quad (18.48)$$

Длина поперечной части лопатки:

$$l_л \geq h_н / \cos \alpha_л \quad (18.49)$$

где: $\alpha_л$ – радиальное отклонение лопатки, $\alpha_л = 5…10^{\circ}$

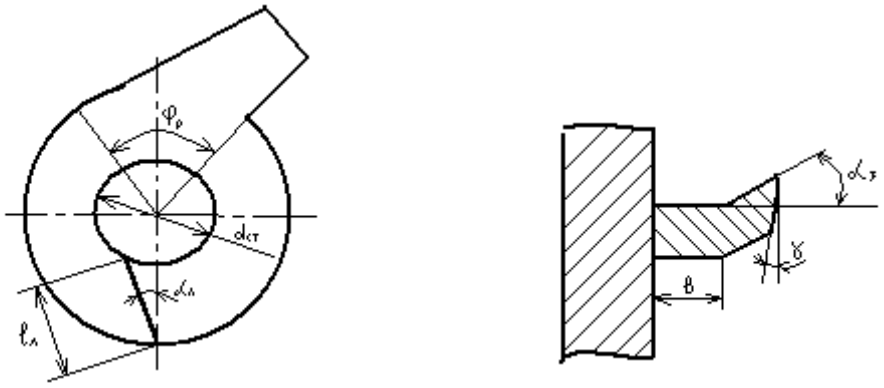


Рис. 18.3. **Геометрия рабочего органа.**

Диаметр ступицы (рис. 17):

$$d_{ст} = 0{,}2 \cdot D_{фр} \quad (18.50)$$

Ширина лопатки:

$$b_л = 2{,}35 \cdot П_т + 40 \quad (18.51)$$

Ширина основания лопатки:

$$b = (0{,}3…0{,}5) \cdot b_л \quad (18.52)$$

В общем виде мощность на привод рабочего органа каналоочистителя определяется следующим выражением:

$$N_{ро} = (N_к + N_ч + N_{раз} + N_п + N_{тр}) / \eta_{р.о} \quad (18.53)$$

где: $N_к$, $N_ч$, $N_р$, $N_п$, $N_{тр}$ – соответственно мощности на копание наносов ножами, на черпание наносов открылками, на разгон наносов, на подъем наносов и трение, кВт; $\eta_{р.о}$ – к.п.д. рабочего органа, учитывающий потери мощности на разрушение наносов ножами, трение ножей о наносы принимается $\eta_{р.о} = 0{,}7$.

Мощность на копание грунта ножами определяется выражением:

$N_к = k_1 \cdot A_с \cdot v_{n.от}$ (18.54)

где: k_1 – удельное сопротивление грунта копанию, кПа;

Мощность на черпание открылками:

$N_ч = k_1 \cdot k_с \cdot v_n \cdot (A_н - A_с)$ (18.55)

где: $k_с$ – коэффициент, учитывающий снижение удельного сопротивления грунта копанию.

Мощность на разгон грунта определяется по формуле:

$N_р = 0{,}405 \cdot П_т \rho v_{окр}^2$ (18.56)

Мощность на подъем грунта определяется по формуле:

$N_п = П_т \rho g H_п$ (18.57)

где: $H_п$ – высота подъема грунта.

$H_п = (0{,}6…0{,}8)\ D_{фр}$ (18.58)

Мощность на трение определяется по формуле:

$N_{тр} = f_1 \cdot П_т \cdot \rho \cdot v_{окр}^2 \cdot \alpha \cdot k_к \cdot k_{рг}$ (18.59)

где: $k_к$ – коэффициент учитывающий форму грунта на лопатке, $k_к$=0,3…0,5; $k_{рг}$ – коэффициент учитывающий расположение грунта на лопатке, $k_к$ = 0,7…0,85.

Предварительно определяем мощность двигателя базовой машины:

$N_{дв} = K_{зап} \cdot N_{ро.}$ (18.60)

где: $K_{зап}$ – коэффициент запаса мощности двигателя.

Сила сопротивления копанию грунта:

$$F_k = \frac{N_k}{v_{окр}} \quad (18.61)$$

Сила сопротивления резанию грунта передним краем кожуха:

$$F_{рез} = 0{,}5 \cdot k_{уд} \cdot D_{фр} \cdot \alpha_k \quad (18.62)$$

где: $k_{уд}$ – удельное сопротивление срезаемых наносов $к_{уд} \approx 8$ кН/м^2.

Центробежная сила:

$$F_{цб} = \frac{N_{тр}}{v_{окр} \cdot f_1} \quad (18.63)$$

Сила на подъем:

$$F_{под} = \frac{N_{под}}{v_{окр}} \quad (18.64)$$

Сила инерции, препятствующая разгону грунта:

$$F_{\text{ин}} = \frac{N_{\text{раз}}}{v_{\text{окр}}} \qquad (18.65)$$

Сила, действующая на открылки:

$$F_{\text{от}} = k_{\text{от}}(\text{A}_{\text{н}} - \text{A}_{\text{с}}) \qquad (18.66)$$

где $k_{\text{от}}$ - коэффициент удельного копания грунта открылками; $k_{\text{от}}$=60…120кПа.

Сила трения кожуха о грунт:

$$F_{\text{тр}} = f_1 \cdot R_{\text{о}} \qquad (18.67)$$

где: R_o – реакция грунта, кН.

18.3. Расчет каналоочистителей со шнековым рабочим органом.

Шнековый рабочий орган отделяет грунт и перемещает его в осевом направлении вращающимся шнеком, который обычно частично охвачен кожухом. На рисунке 18.2 показана схема шнекового рабочего органа с осью вращения, параллельной откосу, предназначенного для очистки и профилирования канала.

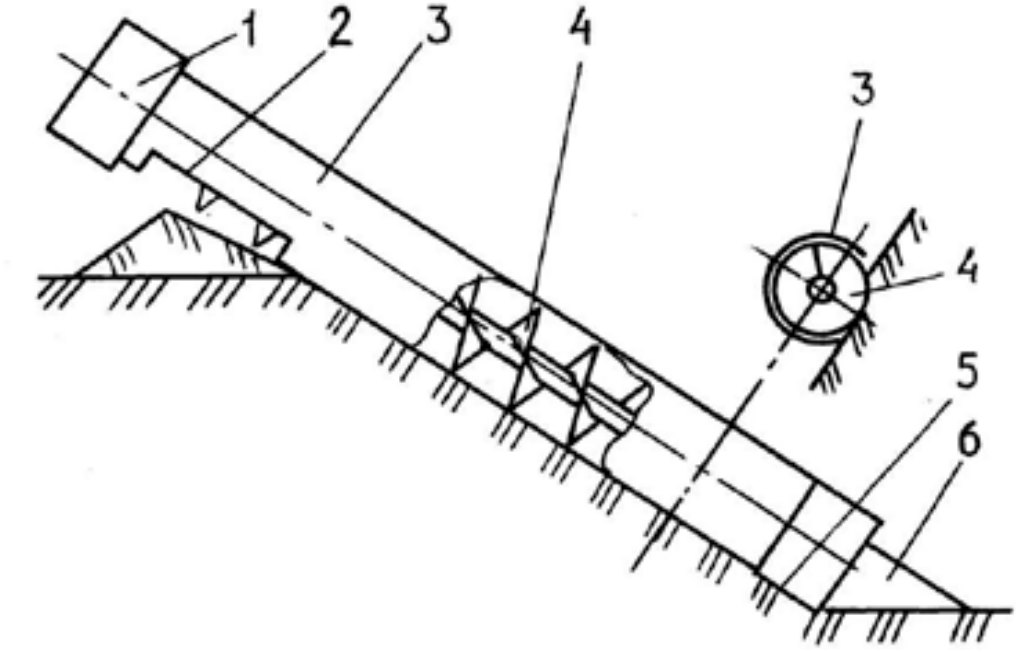


Рис. 18.2 **Схема шнекового рабочего органа с осью вращения, параллельной откосу:** 1 – привод; 2 – выгрузное окно; 3 – кожух; 4 – шнек; 5 – лыжа; 6 – пассивный отвал.

Шнек режет грунт и транспортирует его. Величина угла подъема ($\alpha_п$), обусловлена углом трения стали о грунт и находится в пределах 15...20°.

Максимальный диаметр шнека принимается:

$$D_ш = (0{,}48...0{,}58),\cdot H \qquad (18.68)$$

где: H – максимальная расчетная глубина канала, м.

Шнеки срезают и транспортируют вниз грунт с обоих откосов канала. При этом площадь поперечного сечения ($A_ш$) этого грунта определяется как сумма площадей двух прямоугольных треугольников по формуле:

$$A_ш = H^2 \cdot \operatorname{ctg} \lambda = H^2 \cdot m \qquad (18.69)$$

где: λ – угол наклона откоса канала к горизонту, град; m – коэффициент заложения откосов.

При передвижении экскаватора со скоростью ($v_п$) шнеки должны перемещать грунт.

Для определения технической производительности ($П_ш$) по выносной способности с учетом разрыхления грунта, степени заполнения пространства, получим:

$$П_ш = 0{,}25 \cdot (\pi^2 \cdot D_ш^3 \cdot n_ш \cdot k_н \cdot \operatorname{tg}\alpha_п) / k_р \qquad (18.70)$$

где: $k_н$ – коэффициент заполнения шнека, учитывающий кроме объема грунта в шнеке еще, и объем, занимаемый валом шнека и другими его частями; $k_н = 0{,}2...0{,}4$.

Определим необходимую частоту вращения шнека:

$$n_ш \geq (2H^2 \cdot v_п \cdot k_р \cdot \operatorname{ctg} \lambda) / (\pi^2 \cdot D_ш^3 \cdot n_ш \cdot k_н \cdot \operatorname{tg}\alpha_п) \qquad (18.71)$$

Если поверхность шнека образует конус, минимальный диаметр шнека ($D_{ш\ min}$) должен быть таким, чтобы скорость резания (v_d), соответствующая этому диаметру, не превосходила критической при принятом ($n_ш$). В противном случае грунт будет перебрасываться на откос канала за рабочим органом. Должно выполняться условие:

$$D_{ш\ min} \geq (g \cdot \cos \lambda) / (2\pi^2 \cdot n_ш^2) \qquad (18.72)$$

Длину режущей части (lр) шнека, контактирующей с откосом, можно предварительно определить по формуле:

$l_р = L_{от} \cdot \cos\varphi_{обр}$ (18.73)

где: $L_{от}$ – длина откоса; $\varphi_{обр}$ – угол наклона образующей конусной поверхности к оси шнека.

$L_{от} = H / \sin\lambda$ (18.74)

Угол наклона определим:

$\varphi_{обр} = \arcsin\left(0{,}5(D_ш - D_{ш\,min}) / (L_{от} - 0{,}5 \cdot D_ш \cdot \operatorname{tg}\lambda)\right)$ (18.75)

18.4. Вопросы для самоподготовки.

1. Виды работ, выполняемых каналоочистителями.
2. Определение и общая классификация каналоочистителей.
3. Основные требования, предъявляемые к каналоочистителям.
4. Шнековые каналоочистители. Их классификация и назначение, Преимущества и недостатки.
5. Ковшовые каналоочистители. Их классификация, область применения.
6. Скребковые каналоочистители. Их классификация и назначение, Преимущества и недостатки.
7. Фрезерные каналоочистители. Их классификация, область применения.
8. Каналоочистители непрерывного действия для удаления наносов и растительности с многоковшовыми, фрезерными, скребковыми и шнековыми рабочими органами.
9. Машины циклического действия для удаления наносов и растительности. Специальные ковши и дополнительное оборудование.
10. Типы и классификация машин для проведения эксплуатационно-ремонтных работ на мелиорируемых системах.

19. Расчет машин для производства культуртехнических работ.

19.1. Расчет машин для очистки территорий от кустарника.

Кусторезы используют для очистки площадей, отводимых под земляные работы, от кустарника и мелколесья с толщиной стволов на уровне земли до 10…15 см.

Кусторез пассивного действия фактически представляет собой гусеничный бульдозер, оснащённый специальным кусторезным отвалом и механизмом его крепления, поэтому главным классификационным признаком таких машин является сила тяги базового промышленного трактора (рис. 19.1).

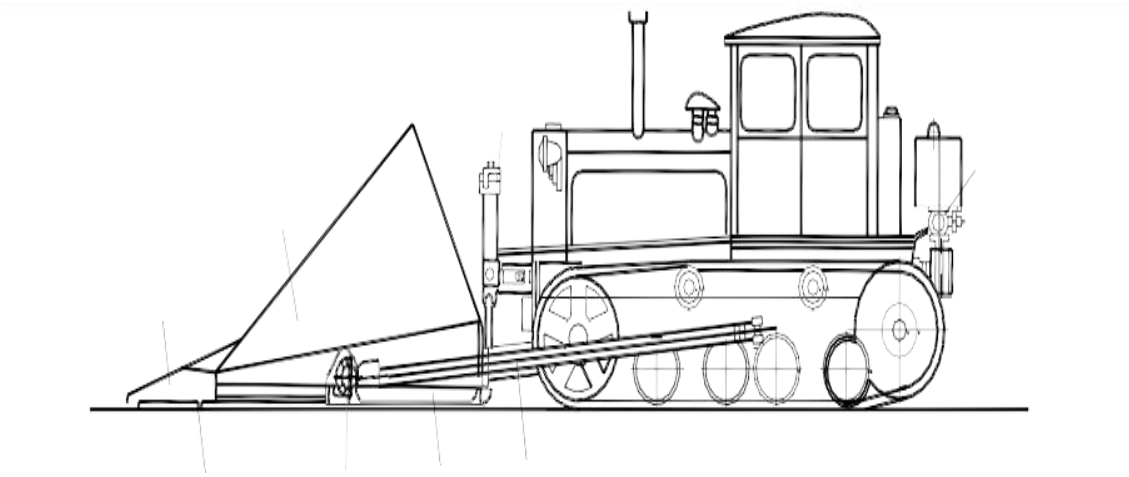


Рис. 19.1. **Кусторез для подготовительных работ.**

Отличительной особенностью кустореза пассивного действия является особая форма его отвала (рисунок 19.2), созданного для срезания дёрна, кустарника и подлеска.

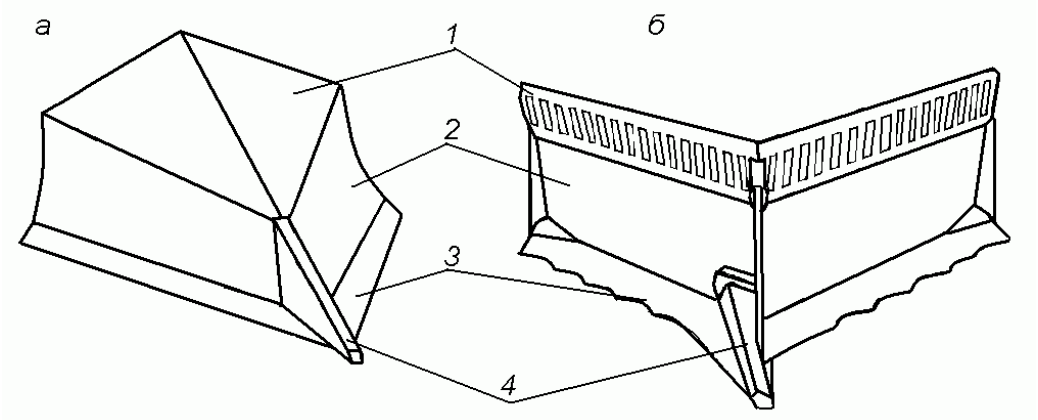


Рис. 19.2. **Клиновидный (*а*) и двухкорпусный (*б*) кусторезные отвалы:**

1 – защитная конструкция; *2* – отвальная поверхность; *3* –режущая кромка; *4* – колун.

Усилие, опасное для прочности кусторезного оборудования, может возникнуть, если во время прямолинейного равномерного движения машины с запертыми гидроцилиндрами кусторезный отвал, находящийся в рабочем положении, ударится колуном в непреодолимое препятствие. Остов отвала,

толкающая рама, подкосы, раскосы, тяговые и упряжные шарниры, болтовые и сварные соединения должны выдержать усилие $W_{\text{расч}}$ (Н), направленное вдоль вектора скорости машины:

$$W_{\text{расч}} = G_{\text{сц}} \cdot \varphi_{max} + u_{\text{ф}}\sqrt{\text{М} \cdot \text{С}_{\Sigma}} \ , \qquad (19.1)$$

где $G_{\text{сц}}$ – сцепная сила тяжести машины, Н; φ_{max} – коэффициент сцепления, соответствующий началу полного буксования движителя (на плотном свежесрезанном грунте при относительной влажности 0,7…1,0 для гусениц φ_{max} = 0,95…1,0); $u_{\text{ф}}$– фактическая скорость машины в момент столкновения с препятствием, м/с; M – общая масса машины, кг; C_{Σ} – суммарная жёсткость рабочего оборудования и препятствия, Н/м.

Суммарную жесткость кусторезного оборудования и препятствия $\text{С}_{\square}$ определяют по формуле:

$$\text{С}_{\Sigma} = \frac{\text{С}_{\text{ро}} \cdot \text{С}_{\text{пр}}}{\text{С}_{\text{ро}} + \text{С}_{\text{пр}}} \ , \qquad (19.2)$$

где $C_{\text{ро}}$ – жесткость рабочего оборудования, Н/м; $C_{\text{пр}}$ – жесткость препятствия, Н/м.

Примерную жёсткость кусторезного оборудования отвального типа $C_{\text{ро}}$ (Н/м) рассчитывают по формуле:

$$\text{С}_{\text{ро}} = \tau_{\text{ж}} \cdot G \ , \qquad (19.3)$$

где $\tau_{\text{ж}}$ – удельная жёсткость навесного оборудования ($\tau_{\text{ж}}$ = 90…100м$^{-1}$); G – общая сила тяжести машины, Н.

При ударе в ствол сосны диаметром 0,3 м на высоте 0,15 м от земли жёсткость препятствия составит примерно 170 Н/м, а при диаметре 0,7 м в той же ситуации – около 900 н/м.

Теоретическую производительность кустореза $\text{П}_{\text{т}}$, м^2/с, рассчитывают по формулам:

при работе без холостых проходов:

$$\text{П}_{\text{т}} = \frac{b_{\text{з}} \cdot L_{\text{з}}}{\left(2t_{\text{р}} + t_{\text{ман}}\right) \cdot n_{\text{пов}} \cdot k_{\text{пер}}}, \qquad (19.4)$$

при работе с холостыми проходами:

$$П_т = \frac{b_з \cdot L_з}{(t_р + t_х + t_{ман}) \cdot n_{пов} \cdot k_{пер}} \quad , \qquad (19.5)$$

где $b_з$ – ширина полосы, очищаемой за один проход, м; $L_з$ – длина очищаемой полосы (захватки), м; $t_р$, $t_х$, $t_{ман}$ – затраты времени на соответственно расчистку прохода, холостое движение, маневрирование в конце прохода ($t_{ман} \approx$ 10 с); $n_{пов}$ – число повторных проходов по одному следу, необходимое для полного удаления растительности (табл. 2.1); $k_{пер}$ – коэффициент перекрытия проходов, учитывающий фактическое уменьшение ширины захвата при перекрытии соседних проходов, $k_{пер} \approx 1{,}15$.

Таблица 19.1

Определение числа проходов

Порода деревьев	Число проходов по одному следу		
	1	2	3
	Диаметр стволов, м		
Сосна	менее 0,25	0,25…0,30	0,35…0,400
Береза	менее 0,13	0,13...0,25	0,25...0,350
Дуб	менее 0,08	0,08…0,95	0,95…0,125

Время расчистки одного прохода определяют по выражению:

$$t_p = \frac{d_{дер} \cdot n_{дер}}{u_{ср}} + \frac{L_з - d_{дер} \cdot n_{дер}}{u_{пр}} \quad , \qquad (19.6)$$

где $d_{дер}$ – средний по участку диаметр дерева, м; $n_{дер}$ – среднее по участку число деревьев, растущих в полосе одного прохода; $u_{ср}$ – скорость движения кустореза при срезании дерева, м/с; $u_{пр}$ – скорость кустореза на прочих операциях, м/с.

Скорость кустореза $u_{ср}$ при срезании дерева определяют по выражению:

$$u_{ср} = u_т (1 - \tau_{ср}) \qquad (19.7)$$

а скорость $u_{пр}$ на прочих операциях – по выражению:

$$u_{пр} = u_т (1 - \tau_{пр}) \qquad (19.8)$$

где $u_т$ – теоретическая скорость машины, м/с; $\tau_{ср}$ – коэффициент буксования движителя при срезании дерева; $\tau_{пр}$ – коэффициент буксования

движителя при выполнении прочих работ, не связанных со срезанием стволов деревьев.

Коэффициент буксования рассчитывают по формуле:

$$\delta_{\text{ср}} = \text{A}\frac{W_{\text{общ}}}{R_z} + B\left(\frac{W_{\text{общ}}}{R_z}\right)^m \quad , \qquad (19.9)$$

где A, B и m – эмпирические коэффициенты (для гусеничного тягача на плотном свежесрезанном грунте A = 0,05, B = 1,76, m = 12); $W_{\text{общ}}$ – общее сопротивление, преодолеваемое кусторезом при работе, Н; R_Z – опорная реакция грунта на движитель машины, Н.

Общее сопротивление $W_{\text{общ}}$, преодолеваемое кусторезом с гидроцилиндрами подъёма/опускания отвала, складывается из сопротивления ствола дерева срезанию $W_{\text{ср}}$, сопротивления грунта резанию $W_{\text{рез}}$, сопротивления призмы волочения перемещению $W_{\text{пр}}$, силы трения призмы волочения об отвал $W_{\text{тр}}$, сопротивления движению машины по опорной поверхности $W_{\text{дв}}$:

$$W_{\text{общ}} = W_{\text{ср}} + W_{\text{рез}} + W_{\text{пр}} + W_{\text{тр}} + W_{\text{дв}} \qquad (19.10)$$

На практике величина каждого из перечисленных сопротивлений не является постоянной. Сопротивление срезанию дерева скачкообразно изменяется от нуля до максимума и, наоборот, с частотой, определяемой количеством древесных стволов на пути машины. Прочие сопротивления колеблются в относительно стабильном диапазоне значений.

Сопротивление древесного ствола срезанию отвалом кустореза определяют по выражению:

$$W_{\text{ср}} = 0{,}25 \cdot \sigma_{\text{ср}} \cdot \pi \cdot \text{d}^2 \qquad (19.11)$$

где $\sigma_{\text{ср}}$ – предел прочности древесины на срез поперек волокон (для дуба $\sigma_{\text{ср}}$ = 49 МПа, для сосны $\sigma_{\text{ср}}$ = 4,9 МПа).

Для определения прочих слагаемых общего сопротивления, преодолеваемого кусторезом в рабочем режиме, используют выражения:

- для кустореза с симметричным двухкорпусным отвалом:

$$W_{\text{рез}} = K_{\text{рез}} \cdot b_{\text{з}} \cdot h_{\text{коп}} \qquad (19.12)$$

$$W_{пр} = V_{пр} \cdot \rho_{пр} \cdot g \cdot \mu_{пр} \quad (19.13)$$

$$W_{тр} = V_{пр} \cdot \rho_{пр} \cdot g \cdot \mu_{пр} \cdot \mu_{ст} \quad (19.14)$$

- для кустореза с косопоставленным однокорпусным отвалом:

$$W_{рез} = K_{рез} \cdot b_з \cdot h_{коп} \cdot sin\gamma \quad (19.15)$$

$$W_{пр} = V_{пр} \cdot \rho_{пр} \cdot g \cdot \mu_{пр} \cdot sin\gamma \quad (19.16)$$

$$W_{тр} = V_{пр} \cdot \rho_{пр} \cdot g \cdot \mu_{пр} \cdot \mu_{ст} \cdot cos\gamma \quad (19.17)$$

и независимо от типа отвала:

$$W_{дв} = G \cdot (f_{пр} \cdot \cos\beta + \sin\beta) \quad (19.18)$$

где $K_{рез}$ – удельное сопротивление лобовому резанию грунта, Па (для грунта I категории $K_{рез} \approx 68$ КПа, II категории – 108 КПа, III категории – 167 КПа); $b_з$ – ширина очищаемой полосы захвата, м; $h_{коп}$ – глубина копания, м (до 0,2 м); $V_{пр}$ – объем призмы волочения, м^3; $\rho_{пр}$ – плотность материала призмы волочения, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $\mu_{гр}$ – коэффициент трения грунта призмы волочения по подстилающему грунту (для связных грунтов 0,5, для несвязных 0,7…1,0); γ –угол захвата (γ = 45…50º); $\mu_{ст}$ – коэффициент трения стали о грунт (для песков и супесей 0,35, для легких суглинков 0,5, для тяжелых суглинков 0,8); $f_{дв}$ – коэффициент сопротивления движению (табл. 2.2); β – угол наклона местности к горизонту, град. (зависит от рельефа местности; на уклонах более 10º рабочие проходы рекомендуется совершать, двигаясь под уклон).

Объем призмы волочения перед кусторезным отвалом рассчитывают по формуле:

$$V_{пр} = k_{зап} \cdot l_{кр} \cdot (h_{отв} - h_{коп})^2 \quad (19.19)$$

где $k_{зап}$ – коэффициент заполнения отвала ($k_{зап}$ = 0,7); $l_{кр}$ – общая длина режущей кромки, м; $h_{отв}$ – общая высота кусторезного отвала, м; $h_{коп}$ – средняя глубина копания, м.

Таблица 19.2

Значения коэффициента сопротивления движению

Опорная поверхность	Коэффициент сопротивления движению	
	гусеницы	шины
Грунтовая сухая дорога	0,07	0,06
Сухой или влажный песок	0,15	

Призма волочения, формирующаяся перед кусторезным оборудованием отвального типа, состоит, как правило, из смеси древесной массы и срезанного грунта, поэтому её среднюю плотность рассчитывают по формуле:

$$\rho_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i \cdot \rho_i \qquad (19.20)$$

где α_i – содержание i – го материала в призме волочения, десятые доли общего объёма призмы; ρ_i –плотность i – го материала, кг/м^3; m – количество материалов, слагающих призму волочения.

Сопротивление срезанию $W_{\text{ср}}$ (Н), которое кусторез может преодолеть без остановки , определяют по выражению:

$$W_{\text{ср}} = G_{\text{сц}} \cdot \varphi_{max} + u_{\text{ф}}\sqrt{\text{М} \cdot \text{С}_{\Sigma}} - \left(W_{\text{рез}} + W_{\text{пр}} + W_{\text{тр}} + W_{\text{дв}}\right) \qquad (19.21)$$

Максимальный диаметр древесного ствола d_{max} (м), который кусторез срежет, не останавливаясь, составит:

$$d_{max} = 2\sqrt{\frac{W_{cp}}{\pi \cdot \sigma_{cp}}} \qquad (19.22)$$

Плотность материалов, которые могут оказаться в призме волочения, представлена в таблице 19.3.

Таблица 19.3

Значения плотности материала призмы волочения.

Материал призмы волочения	Плотность, кг/м^3
Древесина свежесрубленная	900
Песок сухой	1420
Песок и глина	1600
Песок влажный	1690
Песок мокрый	1840
Грунт обычный сухой	1500
Грунт обычный влажный	1600
Грунт обычный мокрый	1900
Гравий	1600

19.2. Расчет машин для корчевания древесно – кустарниковой растительности и пней

Работы по корчеванию древесной растительности разнообразны по условиям и способам выполнения, а следовательно, и по затратам энер- гии и труда.

Наиболее распространенные на мелиорируемых землях древесные растения делятся на такие группы: I – породы с глубокими и мощными стержневыми и боковыми корнями (дуб, сосна, лиственница); II – породы с мощными боковыми, поверхностно стелющимися корнями (ель, серая ольха, осина, древовидная ива); III – породы с мощными боковыми корнями, частично проникающими глубоко в почву и частично стелющимися поверхностно (береза, ясень). Выделяют три основных типа лесокустарниковой растительности: кустарник, лес, лесокустарник. Для лесокустарниковых зарослей характерны две группы древесной растительности – лесная и кустарниковая. Вторая занимает большую площадь (таблица 19.4).

Таблица 19.4

Классификация кустарниковой и лесной растительности

Тип древесной растительности	Диаметр стволов, см	Количество стволов на 1 га зарослости, шт.		
		редкой	средней	густой, тыс.
Кустарник	1–7	до 15 тыс.	15–30	> 30
Мелколесье	7–11	до 800	800–2250	> 2250
Лес: очень мелкий	11–15	до 400	400–1400	> 1400
мелкий	15–23	до 300	300–850	> 850
средней крупности	23–32	до 100	100–520	> 520
крупный	32–50	до 80	80–320	> 320
очень крупный	50–80	до 50	50–200	> 200
толстомерный	> 80	до 30	30–140	> 140

При выполнении корчевальных работ необходимо учитывать и сопротивление грунтов. Наибольшие усилия затрачивают на тяжелых почвах, наименьшие – на песчаных и торфяниках. Трудоемкость корчевания деревьев зависит от влажности почвы. На сухих уплотненных грунтах на корчевание затрачивают больше усилий, чем на влажных. Однако при этом следует учитывать проходимость механизмов.

Затраты усилий зависят и от способа корчевания. При корчевании древесной растительности в горизонтальном направлении усилий затрачивается на 50–80 % меньше, чем при корчевании в вертикальном направлении или кручении вокруг вертикальной оси.

Древесно-кустарниковую растительность в основном удаляют двумя способами: поточным (около 23 %) и раздельным (около 77 %). Поточный способ удаления древесно-кустарниковой растительности не является универсальным. Он эффективен на крупных массивах, суходольных площадях, заросших ольхой и другими ломкими породами.

Наиболее распространен способ раздельной корчевки, которую можно применять в любых природно-климатических условиях, с различной по составу и количеству древесной растительностью, независимо от наличия камней на поверхности и в пахотном слое. Сущность способа заключается в том, что выкорчеванную массу древесно-кустарниковой растительности не сгребают сразу в валы и кучи, а перемещают на расстояние 10– 15 м от места корчевки, одновременно переворачивают корневой системой вверх, по возможности в южную сторону, оставляя в таком виде на срок, необходимый для просыхания прилипшей к корневой системе земли (10– 20 дней и более).

Пни корчуют несколькими способами:

- запрокидывают на сторону под действием горизонтальной силы;
- выдергивают под действием вертикальной силы;
- выкручивают путем вращения вокруг вертикальной оси, при этом можно выдернуть пень с наименьшим усилием.

Механическое корчевание в зависимости от размеров и состояния корчуемых пней, характера их корневой системы, почвенных условий, наличия на участке погребенной древесины и других факторов выполняют одним из трех способов: 1) заглублением клы- ков и извлечением пня толкающим усилием трактора; 2) заглублением клыков под пень и извлечением его сдвигом за счет толкающего усилия трактора с одновременным подъемом рабочего органа; 3) заглублением клыков двуплечих рычагов под пень с извлечением его поворотом рычага (используется принцип рычага второго рода).

Корчеватели-собиратели предназначены для корчевания пней, сплошного и раздельного корчевания кустарника и мелколесья, а на осушенных и заболоченных минеральных землях также для перемещения и погрузки в низкие транспортные средства пней и камней (рисунок 19.3).

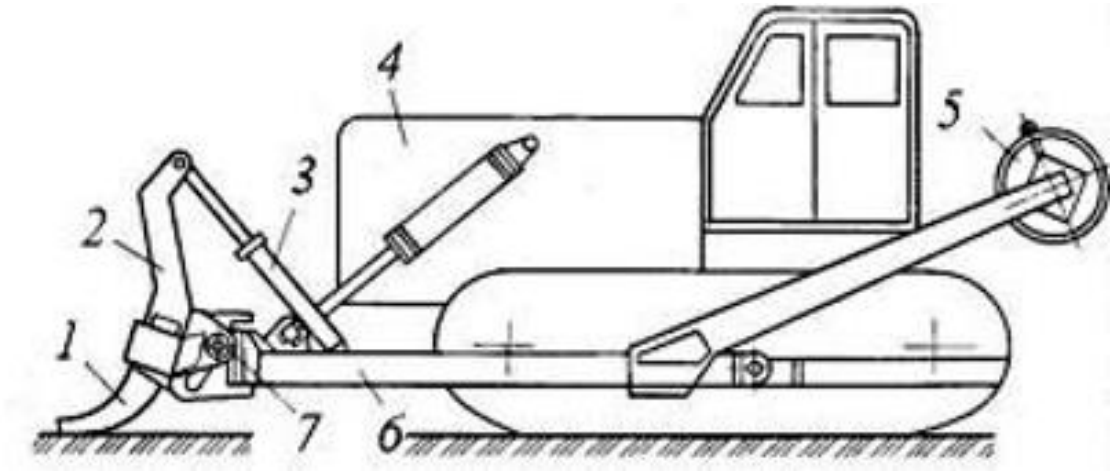


Рис. 19.3. **Корчеватель-собиратель:** *1* - клык; *2* - отвал; *3* и *4* - гидроцилиндры поворота и подъема; 5 - противовес; *6* - толкающая рама; 7 - кронштейн поворотного устройства.

Расчет рабочего оборудования на прочность выполняется для случая, когда корчеватель, двигаясь вперед, стремится поднять отвал вместе с корчуемым объектом (рис. 19.5).

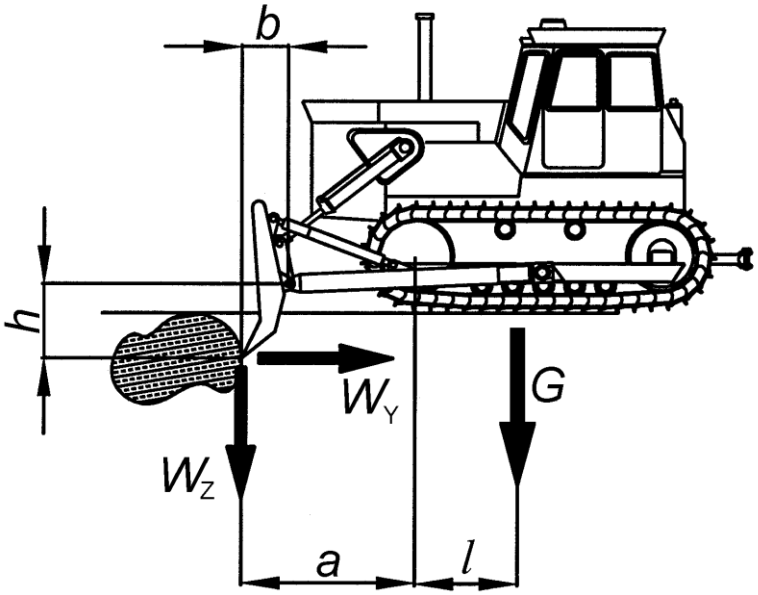


Рис. 19.5. **Схема к расчёту разрушающего усилия**

Наименее прочным считают сечение зуба в месте его контакта с толкающим брусом. Изгибающий момент в опасном сечении $M_{изг}$ рассчитывают по формулам:

$$\text{М}_{\text{изг}} = W_z \cdot b + W_y \cdot h \qquad (19.23)$$

$$W_z = \frac{G \cdot l}{a} \qquad (19.24)$$

$$W_y = G_{\text{сц}} \cdot \varphi_{max} \cdot k_{\text{дин}} \qquad (19.25)$$

где: W_Z – вертикальная составляющая силы рабочего сопротивления, действующая в плоскости чертежа (определяется по уравнению моментов, действующих на корчеватель относительно передней грани); b, h, l, a – расстояния между точками приложения сил, действующих на агрегат; W_Y – максимальная сила тяги, развиваемая агрегатом; G – общая сила тяжести агрегата; $G_{\text{сц}}$ – сцепная сила тяжести агрегата; φ_{max} – максимальный коэффициент сцепления; $k_{\text{дин}}$ – коэффициент динамичности ($k_{\text{дин}} \approx 2{,}0$).

Теоретическую производительность корчевателя – собирателя рассчитывают по уравнениям, используемым для кустореза.

Сумму сопротивлений $W_{\text{общ}}$ (Н), преодолеваемых агрегатом при расчистке территории, определяют по формулам:

$$W_{\text{общ}} = W_{\text{рыхл}} + W_{\text{пр}} + W_{\text{корч}} + W_{\text{тр}} + W_{\text{дв}} \qquad (19.26)$$

$$W_{\text{рыхл}} = K_{\text{рых}} \cdot b_{\text{зах}} \cdot h_{\text{рых}} \qquad (19.27)$$

$$W_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{пр}} \cdot g \cdot \mu_{\text{пр}} \qquad (19.28)$$

$$V_{\text{пр}} = k_{\text{зап}} \cdot l_{\text{отв}} \cdot h_{\text{отв}}^2 \qquad (19.29)$$

$$W_{\text{тр}} = G_{\text{ро}} \cdot \mu_{\text{ст}} \qquad (19.30)$$

$$W_{\text{дв}} = G \cdot (f_{\text{дв}} \cdot \cos\beta + \sin\beta) \qquad (19.31)$$

где: $W_{\text{рыхл}}$ – сопротивление грунта рыхлению, Н; $W_{\text{пр}}$ – сопротивление перемещению призмы волочения, Н; $W_{\text{корч}}$ – продольная составляющая сопротивления пней корчеванию, Н; $W_{\text{тр}}$ – сила трения рабочего оборудования корчевателя о грунт, Н; $W_{\text{дв}}$ – сопротивление движению, Н; $K_{\text{рых}}$ – удельное сопротивление грунта рыхлению зубьями агрегата, Па (для грунта с корнями кустарника $K_{\text{рых}}$ = 117,72 КПа); $b_{\text{зах}}$ – ширина захвата, м; $h_{\text{рых}}$ – глубина рыхления, м; $V_{\text{пр}}$ – объем призмы волочения, м^3; $\rho_{\text{пр}}$ – плотность материала призмы волочения, кг/м^3; g – ускорение свободного

падения, м/с^2; $\mu_{пр}$ – коэффициент трения грунта призмы волочения по грунтовой поверхности; $k_{зап}$ – коэффициент заполнения отвала ($k_{зап} \approx 0,7$); $l_{отв}$ – длина отвала, м; $h_{отв}$ – высота отвала, м; $G_{ро}$ –сила тяжести рабочего оборудования, Н; $\mu_{ст}$ – коэффициент трения стали о грунт; G – общая сила тяжести агрегата, Н; $f_{дв}$ – коэффициент сопротивления движению корчевателя: β – угол наклона обрабатываемого участка к горизонту.

Таблица 19.5

Сопротивление пней корчеванию

Порода дерева	Сопротивление пней корчеванию, кН, при диаметре, м				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Ель и пихта	17,7	39,2	88,3	147,2	196,0
Осина	18,6	49,1	73,6	152,1	206,0
Береза	19,6	54,0	93,2	157,0	215,8

19.3. Расчет машин для сплошного удаления растительности

Удаление древесно-кустарниковой растительности на торфяных землях с диаметром стволов не более 12 см целесообразно проводить глубоким фрезерованием, так как исключаются трудоемкие работы: срезка или корчевка лесокустраника, вывоз древесной массы, сгребание ее в валы и сжигание, вспашка, дискование и прикатывание торфяной почвы. Вместо этих операций фрезерованием измельчают древесную растительность, перемешивают с почвой и укатывают. Перечисленные работы выполняют за один проход машины. Если на участках встречаются крупные деревья или пни – их срезают так, чтобы высота пня не превышала 5–10 см над поверхностью земли и убирают. После фрезерования не требуется основная обработка почвы. Работа этих машин частично осуществляет также выравнивание поверхности почвы.

Существующая практика полного удаления древесно-кустарниковой растительности (под этим понимается и удаление, и измельчение наземной

и корневой частей) рекомендует применение двух видов машин в соответствующей последовательности.

Первый вид – мульчеры, осуществляющие измельчение до состояния мульчи, но не удаляющие корневую часть. Ротор мульчера имеет скорость вращения около ~1000 об/мин (рис. 19.6). Для достижения такой высокой скорости вращения ротора на измельчителях используются ременные передачи. В то же время, подобное число оборотов не позволяет мульчеру фрезеровать почву.

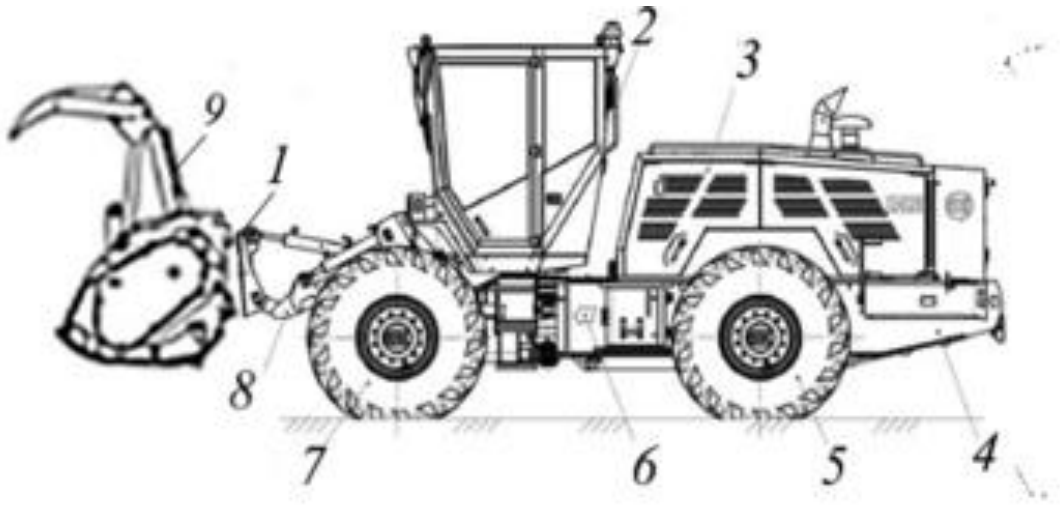


Рис.19.6. **Общий вид мульчера:** *1* – адаптер; *2* – кабина; *3* – установка силовая; *4* – рама; *5*, *7* – ведущие мосты с колесами; *6* – коробка раздаточная; *8* – стрела.

Мульчеры также используются для расчистки территорий инженерных коммуникаций, автомобильных и железных дорог, расчистки участков после лесозаготовок, где после измельчения и покрытия поверхности мульчой, корневая система возобновляет прорастание только через 2-3 года.

Необходимо учитывать то, что мульчирователь технически можно использовать для измельчения достаточно крупных стволов деревьев на месте, но общая производительность при этом может оказаться низкой. Для утилизации стволов лучше применять другие методы – от переработки на дрова до измельчения в щепу мощными дробилками с приводом от вала отбора мощности трактора или автономного двигателя внутреннего сгорания.

При преобладании мелкой кустарниковой растительности большую эффективность, по сравнению с мульчерами, демонстрируют роторные кустоизмельчители – устройство с одним или несколькими роторами, на которых закреплены цепи или ножи. Это решение наиболее оптимально для коммунальных служб и для расчистки полос отвода инженерных коммуникаций. А для кустарников на землях сельхоз назначения есть решение, о котором будет сказано ниже.

Второй вид – ротоваторы, которые измельчают наземную (до 10 см) и корневую часть кустарниково-древесной растительности. Они предназначены для подготовки территории для введения земель в сельхозоборот, прокладки противопожарных полос, подготовки строительных площадок, разрыхления почвы перед посадкой новых деревьев с одновременным измельчением порубочных остатков после лесозаготовок, старых пней и корней.

Почвенные фрезы позволяют одновременно измельчать корни, пни и разрыхлять почву. Такие машины подходят для создания противопожарных полос, восстановления заброшенных территорий, расчистки участков после лесозаготовок, корчевания, разрыхления почвы перед посадкой лесных культур с одновременным удалением старых пней и корней (рисунок 19.7).

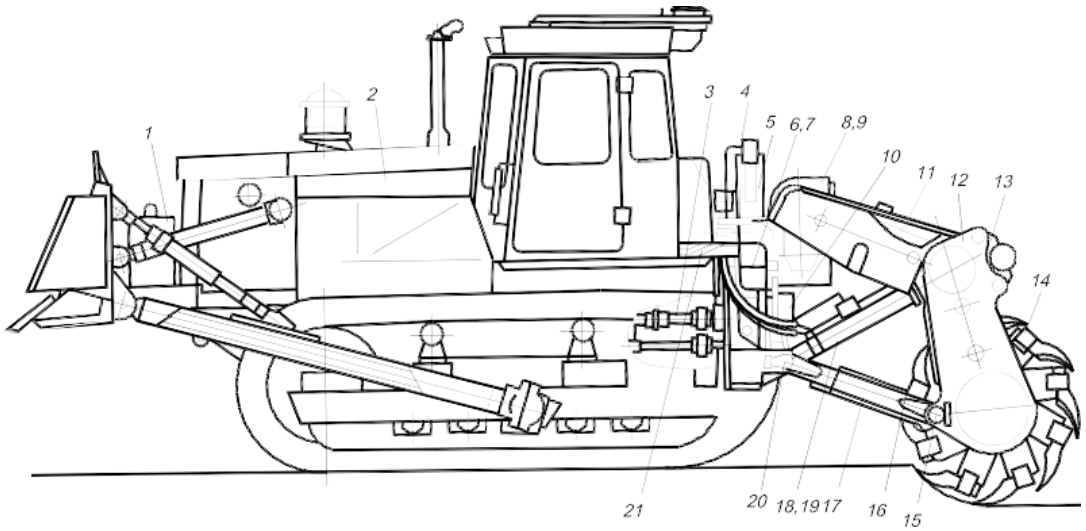


Рис.19.7. **Машина для фрезерования почвы:** 1 – противовес; 2 – трактор; 3 – привод рабочего органа; 4 – гидрораспределитель; 5 – гидропривод

ходоуменьшителя; 6 – управление; 7 – управление приводом рабочего органа; 8 – редуктор отбора мощности; 9 – редуктор ходоуменьшителя; 10 – предохранительная муфта; 11 – тяга; 12 – бортовой редуктор; 13 – балка; 14 – рабочий орган; 15, 16 – цепная передача; 17 – рама; 18 – гидропривод; 19 – гидропривод подъема и опускания; 20 – оси; 21 – управление распределителем ходоуменьшителя

Потребная мощность машины для сплошного удаления растительности определяется из выражения:

$$N_{общ} = N_{дв} + N_{рез.п} + N_{отбр.п} + N_{рез.д} + N_{отбр.д} \quad (19.32)$$

где $N_{дв}$ - мощность, необходимая на продвижение машины в рабочем положении, кВт; $N_{рез.п}$ - мощность, необходимая для резания грунта, кВт; $N_{отбр.п}$ - мощность, необходимая на отбрасывание грунта, кВт; $N_{рез.д}$ - мощность, необходимая для перерезания древесных растений, кВт; $N_{отбр.д}$ - мощность, необходимая на отбрасывание древесных частиц, кВт.

Мощность, необходимая на продвижение кусторeза в рабочем положении, составит:

$$N_{дв} = G_{ф} \cdot g \cdot f \cdot v_{т} \quad (19.33)$$

где $G_{ф}$ - масса фрезы, кг; g - ускорение силы тяжести, м/с^2; f - коэффициент трения металла о почву и древесину, принимаем 0,3-0,6; $v_{т}$ - скорость движения трактора, м/с.

Мощность, необходимая для резания грунта, определяется по формуле:

$$N_{рез.п} = 10^{-3} \cdot k_{п} \cdot a \cdot b \cdot \left(v_{окр.ф} - v_{т}\right) \quad (19.34)$$

где $k_{п}$ - удельное сопротивление почвы резанию, 7000 - 20000 Н/м^2; a - глубина фрезерования, м; b - ширина захвата фрезы, м; $v_{окр.б}$ - окружная скорость фрезерного барабана, м/с.

Окружная скорость фрезерного барабана записывается в виде:

$$v_{окр.ф} = \frac{\pi \cdot n \cdot d_{ф}}{60} \quad (19.35)$$

где $d_{ф}$ – диаметр фрезы, м; n – частота вращения рабочего органа, об/мин.

Мощность, необходимая на отбрасывание почвенных частиц, определяется по формуле:

$$N_{\text{отбр.п}} = \frac{k_{\text{отбр.п}} \cdot \gamma_{\text{п}} \cdot a \cdot b \cdot \left(v_{\text{окр.ф}} - v_{\text{т}}\right)^3}{2 \cdot 10^3 \cdot g} \qquad (19.36)$$

где $k_{\text{отбр.п}}$ - коэффициент отбрасывания почвы рабочими органами, принимаем 0,7; $\gamma_{\text{п}}$ – удельный вес почвы, Н/м^3.

Мощность, необходимая на резание древесины, определяется по формуле:

$$N_{\text{рез.д}} = 10^{-3} \cdot k_{\text{р.д}} \cdot d \cdot d_{\text{ф}} \cdot n_{\text{ств}} \cdot \varepsilon \cdot \left(v_{\text{окр.ф}} - v_{\text{т}}\right) \qquad (19.37)$$

где $k_{\text{р.д}}$ - удельное сопротивление древесины резанию, принимаем $15 \cdot 10^4$ Н/м^2; d - средний диаметр срезаемой древесины, м; $d_{\text{ф}}$ - диаметр рабочего органа, м; $n_{\text{ств}}$ - количество стволов срезаемой древесины на 1 м ширины захвата, шт.; ε- коэффициент, учитывающий неодновременность процесса перерезания стволов, принимаем 0,5.

Мощность, необходимая на отбрасывание древесных частиц, определяется по формуле:

$$N_{\text{отбр.д}} = \frac{k_{\text{отбр.д}} \cdot \gamma_{\text{д}} \cdot d \cdot d_{\text{ф}} \cdot n_{\text{ств}} \cdot \varepsilon \cdot \left(v_{\text{окр.ф}} - v_{\text{т}}\right)^3}{2 \cdot 10^3 \cdot g} \qquad (19.38)$$

где $k_{\text{отбр.д}}$ - коэффициент отбрасывания древесины рабочими органами, принимаем 0,5; $\gamma_{\text{д}}$ – удельный вес древесины, принимаем 5000 Н/м^3.

19.4. Расчет машин для расчистки территорий от камней.

Способы очистки сельскохозяйственных угодий от камня зависят от характера засоренности почв камнем, их количества и размера. По расположению в почве камни могут быть поверхностными, скрытыми и глубинными. Организация камнеуборочных работ проводится в зависимости от площади каменистых почв, степени каменистости и ее

характеристики. Степень каменистости почв на 1 га пашни в слое 30 см определяется в процентах или объемом камней в $м^3$ (таблица 5.1).

Таблица 19.6

Степень каменистости почв на сельскохозяйственных угодьях

Степень каменистости почв	Процент покрытия	Объем камней, $м^3$
Слабокаменистые	до 10	5–20
Среднекаменистые	10–20	20–50
Сильнокаменистые	20–40	50–100
Очень сильно каменистые	> 40	> 100

Для характеристики каменистости почв замеряют размеры камней по диаметру и определяют положение их в почвенном профиле (табл. 19.7).

Таблица 19.7

Деление камней по размерам и их классификация

Размеры камней, м	≤ 1	1–0,6	0,6–0,3	0,3–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01
Классификация	Глыбы	Крупные камни	Средние камни	Небольшие камни	Мелкие камни	Галька и щебень

Тип технических средств и способ очистки угодий выбирают в зависимости от размера убираемых камней, степени и характера засоренности почв. На пахотных землях камни убирают как с поверхности почвы, так и скрытые в пахотном горизонте на глубине до 30 см; на естественных кормовых угодьях - лишь поверхностные валуны.

Камнеуборочные машины бывают цикличного или непрерывного действия (рис.19.8).

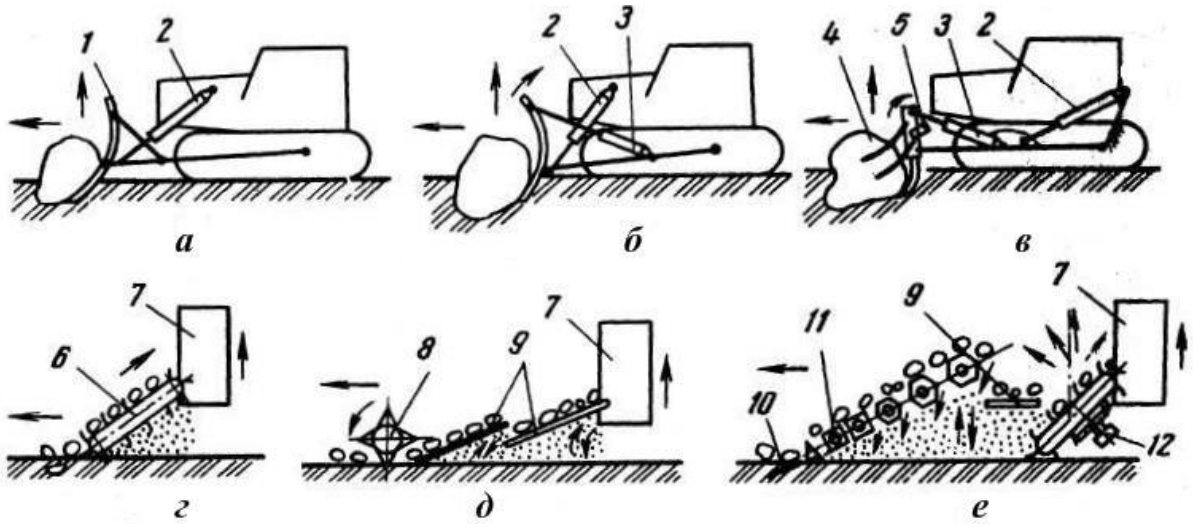


Рис.19.8. **Рабочие органы камнеуборочных машин:** *а* – толкающего действия; *б* – поворотный; *в* – с челюстным захватом; *г* – элеваторный; *д* – с вибротранспортером; *е* – с просеивателем валковым; *1* – зубчато-рычажный отвал; *2* и *3* – гидроцилиндры подъема и по- ворота; *4* – захваты; *5* – гидроцилиндр; *6* – цепной транспортер; *7* – выносной поперечный транспортер; *8* – валок; *9*– решетчатый виброгрохот; *10* – подающий нож; *11* – валики; *12*-воздуходувка удаления органической массы

Определяем окружную скорость фрезы:

$$v_{\text{окр}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ф}} \cdot n_{\text{ф}}}{60} \qquad (19.39)$$

где $d_{\text{ф}}$ – диаметр фрезы, м; $n_{\text{ф}}$ – частота вращения фрезы, об/мин.

Определяем количество энергии, отдаваемой камню:

$$A_{\text{к}} = 2 \cdot k_{\text{к}} \cdot m_{\text{к}} \cdot v_{\text{окр}}^2 \qquad (19.40)$$

где $k_к$ – коэффициент, зависящий от изменения скорости камня в процессе дробления; $m_к$ – масса камней, одновременно находящихся в дробильном агрегате, в зависимости от степени засоренности территории, кг.

Определяем критическую скорость дробления:

$$v_{\text{кр}} = 1{,}75 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{\sigma_{\text{р}}}{\rho \cdot d_{\text{к}}}\right)^2} \qquad (19.41)$$

где σ_p – предел прочности материала при растяжении, Па; ρ – плотность дробимого материала, кг/м^3.

Определяем мощность, затрачиваемую на дробление:

$$N_{\text{д}} = \frac{9 \cdot d_{\text{ф}}^2 \cdot L_p \cdot n_{\text{ф}}}{60} \qquad (19.42)$$

где $L_{\text{р}}$ – ширина захвата рабочего органа, м.

19.5. Вопросы для самоподготовки.

1. Культуртехнические работы, их значение и средства механизации технологических операций.
2. Основные требования, предъявляемые к машинам для освоения земель с учётом условий их работы.
3. Конструкция и принцип работы кусторезов с пассивным рабочим органом.
4. Конструкция и принцип работы кусторезов с рабочими органами активного действия.
5. Сравнительная оценка кусторезов с пассивным и активным рабочими органами.
6. Схема сил, действующих на машину при работе кустореза с клиновидным отвалом.
7. Статический расчёт кустореза с клиновидным отвалом.
8. Тяговый расчёт кустореза с клиновидным отвалом.
9. Машины и оборудование для сбора и погрузки срезанной растительности и удаления её с поля.
10. Выбор основных параметров кустореза с фрезерным рабочим органом.
11. Конструкция и принцип действия машин для измельчения срезанного кустарника и рубильных машин для крупных растительных остатков.
12. Конструкция и принцип работы машины для валки деревьев.
13. Конструкция корчевателя циклического действия.
14. Схема сил, действующих на корчеватель циклического действия в рабочем режиме.

15. Статический расчёт корчевателя циклического действия.
16. Тяговый расчёт корчевателя циклического действия.
17. Конструкция и принцип работы роторного корчевателя непрерывного действия.
18. Баланс мощности роторного корчевателя непрерывного действия.
19. Статический расчёт роторного корчевателя непрерывного действия.
20. Тяговый расчёт роторного корчевателя непрерывного действия.
21. Конструкция и принцип действия машин с фрезерным рабочим органом для измельчения пней.
22. Конструкция и принцип работы камнеуборочной машины циклического действия.
23. Конструкция и принцип работы камнеуборочной машины непрерывного действия.
24. Статический расчёт камнеуборочной машины циклического действия.
25. Основы расчёта камнеуборочных машин непрерывного действия.
26. Машины и оборудование, применяемое для сбора и погрузки камней.
27. Какие машины применяются для первичной обработки почвы?
28. Конструкция и область применения кустарниково- болотных плугов.
29. Достоинства и недостатки первичной обработки почвы кустарниковоболотными плугами.
30. Выбор основных параметров дисковой бороны.

20. Расчет машин для орошения.

20.1. Технологические показатели дождевания.

При орошении сельскохозяйственных культур исходными показателями являются оросительная и поливная нормы, иногда соответственно называемые норма орошения и норма полива.

Оросительная норма – это количество воды, которое необходимо подать искусственным путем на единицу орошаемой площади за

вегетационный период дополнительно к естественным запасам влаги с целью поддержания оптимальной влажности почвы.

Обычно измеряется или задается в метрах кубических на гектар ($м^3$/га) или в миллиметрах слоя воды (1 мм = 10 $м^3$/га).

Поливная норма – это количество воды, которое необходимо подать искусственным путем на единицу орошаемой площади за один полив с целью поддержания оптимальной влажности почвы.

Как и оросительная, поливная норма измеряется или задается в метрах кубических на гектар или в миллиметрах слоя воды. Исходя из приведенных определений, можно записать:

$$m = \frac{V}{A} \quad (20.1)$$

$$h = 0{,}1 \cdot \frac{V}{A} \quad (20.2)$$

где m – поливная норма, $м^3$/га; V – объем воды, требуемый для увлажнения орошаемой площади за один полив, $м^3$; A – орошаемая за один полив площадь, га; h – необходимый слой воды (при дождевании – необходимый слой дождя или осадков), мм.

Определяющими параметрами искусственного дождя являются его интенсивность и структура.

Обычно различают мгновенную, действительную или среднюю и допустимую интенсивности.

Мгновенная интенсивность $\rho_м$ – это отношение мгновенного приращения слоя дождя dh данной точки к приращению времени dt, т. е.

$$\rho м = \frac{dh}{dt} \quad (20.3)$$

Действительная, или средняя интенсивность $\rho_{ср}$, – это экспериментально измеренная интенсивность за длительный период времени или определенная расчетным путем (мм/мин или мм/с).

Из определения следует, что

$$\rho_{ср} = \frac{h_{изм}}{t_{изм}} \quad (20.4)$$

где $h_{изм}$ – значение измеренного слоя дождя, мм; $t_{изм}$ – время, за которое выполнялось измерение.

Следует обратить внимание на то, что интенсивность имеет размерность скорости.

Интенсивность дождя, обеспечивающую в данных условиях выдачу требуемой поливной нормы без образования луж, приводящих к стоку воды по поверхности почвы, называют допустимой интенсивностью.

Она зависит от водопроницаемости почв, уклона поля, вида растительности и некоторых других факторов.

При проектировании машин возникает потребность в оценке создаваемого ею слоя дождя. Для этого случая уравнение (20.2) будет иметь следующий вид:

$$h = 0{,}1 \cdot \frac{V_в}{A_о} \qquad (20.5)$$

где $V_в$ – объем воды, выдаваемый машиной за один полив, $м^3$; $A_о$ – площадь, которую машина охватывает дождем с одной позиции или в одном технологическом проходе, га.

Если в уравнении (20.5) правую и левую части разделить на время выдачи объема воды $V_в$, можно получить следующее уравнение:

$$\rho_{ср} = \frac{60 \cdot Q_м}{A_о} \qquad (20.6)$$

где $Q_м$ – расход машины, л/с; $A_о$ – площадь, которую машина охватывает дождем с одной позиции или в одном технологическом проходе, $м^2$.

Для разных машин $A_о$ рассчитывается в зависимости от формы охватываемой дождем площади и организации процесса орошения.

Для дальнеструйных машин кругового действия

$$A_о = \pi \cdot R^2 \qquad (20.7)$$

для дальнеструйных машин кругового действия, орошающих по сектору,

$$A_о = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot \alpha}{360} \qquad (20.8)$$

для широкозахватных машин кругового действия типа «Фрегат», орошающих в движении, в соответствии со схемой на рис. 38 ориентировочно

$$A_o = L_м \cdot R_к + 0{,}5 \cdot \pi \cdot R^2 \qquad (20.9)$$

для широкозахватных фронтальных машин позиционного действия и дождевальных систем, а также широкозахватных фронтальных машин, орошающих в движении

$$A_o = B_з \cdot b \qquad (20.10)$$

где R – радиус действия машины, м; α – центральный угол орошаемого сектора, град; $L_м$ – длина машины, м; $R_к$ – радиус действия концевого дождевального аппарата, м; $B_з$ – ширина захвата машины или системы, м; b – ширина охватываемой дождем полосы, измеренная в направлении движения машины (рис. 20.1), или расстояние между гидрантами для позиционных машин и систем, м.

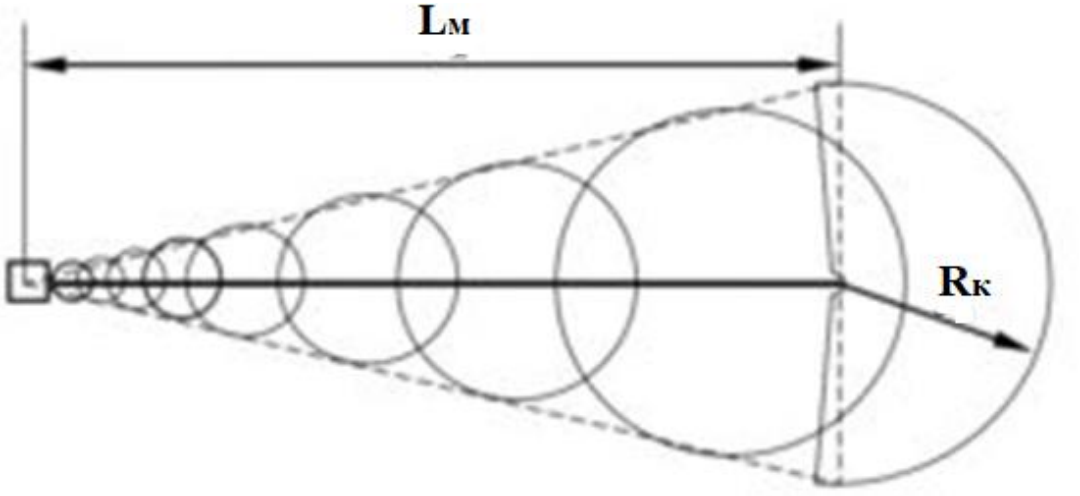


Рис.20.1. **Схема к расчету площади, охваченной дождем дождевальной машиной типа «Фрегат»**

При орошении, как правило, требуется обеспечить на орошаемой площади необходимый слой дождя или поливную норму. Если известны основные технические параметры машины, то, как следует из определения интенсивности дождя,

$$h_{тр} = \rho_{ср} \cdot t_в \qquad (20.11)$$

где $h_{тр}$ – требуемое значение слоя дождя, мм; $t_в$ – время воздействия дождя на орошаемую точку, мин. Отсюда

$$t_в = \frac{h_{тр}}{\rho_{ср}} \quad (20.12)$$

Для дождевальных систем и машин позиционного действия уравнение (20.12) может быть использовано для расчета времени нахождения машины на позиции $t_{поз}$, т. е. времени непрерывной работы машины, за которое она выдаст требуемый слой дождя или поливную норму. Для этого случая $t_в = t_{поз}$.

Для машин, орошающих в движении, время воздействия дождя на каждую точку орошаемого участка, попавшую в зону, охваченную дождем (на рис. 20.2 это, например, точка А), время воздействия можно определить по формуле

$$t_в = \frac{b}{v_п} \quad (20.13)$$

где $v_п$ – средняя скорость рабочего перемещения машины, м/мин.

Приравняв правые части уравнений (20.12) и (20.13) и выразив из полученного равенства $v_п$, получим

$$v_п = \frac{b \cdot \rho_{ср}}{v_п} \quad (14)$$

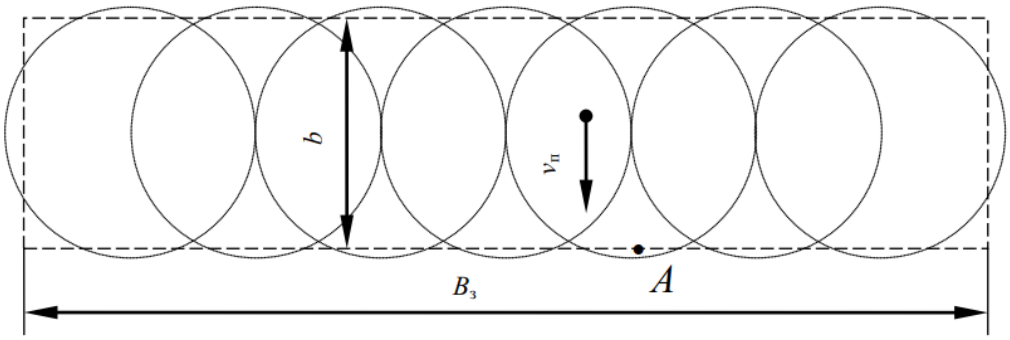


Рис. 20.2. **Схема к расчету скорости передвижения для фронтальной дождевальной машины, орошающей в движении**

С учетом уравнения (20.6) получим:

$$v_п = \frac{60 \cdot Q_м}{B_з \cdot h_{тр}} \quad (20.15)$$

Для шлангового дождевателя с одним перемещаемым дальнеструйным аппаратом, орошающим по сектору, расчет $v_п$ можно выполнять по формуле

$$v_п = \frac{30 \cdot Q_м}{R_з \cdot h_{тр}} \quad (20.16)$$

Для дождевальной машины типа «Фрегат» на расстоянии $L_м$ от центра машины

$$v_п = \frac{30 \cdot Q_м}{R_к \cdot h_{тр}} \quad (20.17)$$

Для данной машины обычно задается и контролируется время полного оборота $t_{об}$ в минутах. Оно с учетом уравнения (20.17) может быть определено по формуле

$$t_{об} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L_м}{v_п} \quad (20.18)$$

Расчет технической производительности $П_т$ (га/ч) для машин позиционного действия выполняется следующим образом:

$$П_т = \frac{A_о}{60 \cdot 10^4 \cdot t_{поз}} \quad (20.19)$$

Эксплуатационная производительность должна учитывать потери времени, необходимые на подключение машины к гидранту, ее отключение, перебазировку с позиции на позицию, техническое обслуживание, естественные надобности оператора и т. п. Кроме того, следует учитывать потери воды на испарение.

Расчет технической производительности (га/ч) для машин, орошающих в движении, выполняется по следующему уравнению:

$$П_т = \frac{B_з \cdot v_п}{60 \cdot 10^4 \cdot k_п} \quad (20.20)$$

где $k_п$ – коэффициент перекрытия орошаемой полосы.

При расчете эксплуатационной производительности необходимо учитывать потери времени, связанные с технологическими, техническими, организационными и другими неизбежными потерями времени, и потери воды на испарение.

Основным показателем *структуры или качества дождя* является размер (диаметр) капель.

Различают абсолютный, средний арифметический, среднеквадратичный и средневзвешенный размеры капель дождя.

Размер капель зависит от отношения $H / d_{от}$, где H – напор перед соплом или отверстием дождевальной насадки или аппарата (м вод. ст.), $d_{от}$ – диаметр отверстия сопла или насадки (м). Данное отношение называется относительным напором ε_H. Чем больше относительный напор, тем мельче капли, т. е. для обеспечения требуемого размера капель искусственного дождя можно или уменьшать диаметр отверстия сопла, или увеличивать напор перед ним.

Необходимо также иметь в виду, что на повреждаемость растений влияют не только размеры капель, но и скорость их полета. Мелкие капли при высокой скорости полета могут повреждать растения.

Другим важнейшим показателем качества дождя является степень равномерности его распределения на орошаемой площади. Она характеризуется коэффициентом эффективности орошения или, по другим источникам, коэффициентом эффективности полива. Он рассчитывается как отношение эффективно политой площади ко всей площади, обслуживаемой дождевальной машиной.

Эффективно политой площадью считается та, которая полита с интенсивностью 0,75…1,25 от средней.

Для дождевальных машин коэффициент эффективности полива должен быть не менее 0,7.

Оценку оптимальности установки машин на орошаемой площади выполняют по коэффициенту земельного использования, определяемому как отношение площади, охватываемой дождем в процессе орошения (площадь нетто), ко всей площади объекта орошения (площадь брутто).

20.2 Вопросы для самоподготовки.

1. Назначение, общая классификация основные требования к машинам для орошения.

2. Дождевальные машины и установки. Классификация и их основные параметры.

3. Классификация и конструкция дождевальных насадок и аппаратов.

4. Общее устройство, принцип действия и условия применения дождевальных машин позиционного действия.

5. Принцип действия и условия применения дождевальных машин, работающих в движении.

6. Общие сведения о машинах и оборудовании для механизации поверхностного полива.

7. Общие сведения о машинах и оборудовании для подпочвенного орошения.

8. Основные направления и перспективы развития машин для орошения.

9. Системы капельного орошения. Основные свойства.

10. Оборудование для капельного полива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доценко А.И., Дронов В.Г. Строительные машины и оборудование: Учебник для строительных вузов. – М.: ИНФА. -2014. – 533 с.

2. Технологии, техника и оборудование для координатного (точного) земледелия / В.И. Балабанов [и др.]. -М.: Росинформагротех. -2016. - 240 с.

3. Механизация растениеводства/В.М. Халанский [и др.]. -М.: РГАУ-МСХА, -2014. -524с.

4. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие/В.И. Балабанов [и др.]. -М.: РГАУ-МСХА, -2013. -146с.

5. Балабанов В.И., Башкирцев Ю.В. Малогабаритные и альтернативные энергетические средства. - С.-Пб.: РИАМиА. -2014. -32 с.

6. Поддубный В.И., Мартынова Н.Б., Палкин Н.А. Машины и средства гидромеханизации в водохозяйственном строительстве. - М.: МЭСХ.-2019. -84 с.

7. Поддубный В.И., Мартынова Н.Б., Палкин Н.А. Теория, расчет и потребительские свойства технологических машин. Методические указания. -М.: РГАУ-МСХА. -2017. -29 с.

8. Балабанов В.И., Ищенко С.А. Наноматериалы и нанотехнологии в сельском хозяйстве. -М.: РГАУ-МСХА, -2011. -290с.

9. Поддубный В.И., Абдулмажидов Х.А. Статический расчет технологических машин природообустройства . - М.: ВНИИГиМ, -2019. -30с.

10. Абдулмажидов Х.А. Трехмерное моделирование элементов машин природообустройства в системе «AutoCAD». - М.: МГУП. 2012, 123 с.

11. Русанова Т.Г., Абдулмажидов Х.А. Организация технологических процессов при строительстве, эксплуатации и реконструкции строительных объектов. - М.: Академия, 2015, 352 с.

12. Кизяев Б.М. Рекомендации по методическим основам формирования федеральных регистров технологий и машин для производства мелиоративных работ в современных условиях / Б.М. Кизяев [и др.].- М.: ВНИИГиМ, 2019, 64 с.

13. Мартынова Н.Б., Абдулмажидов Х.А., Балабанов В.И. Расчет машин и оборудования природообустройства. - М.: МЭСХ.-2020. -86 с.

14.Мартынова Н.Б. Расчет технологических машин природообустройства.- М.: Издательство «Перо».-2020. -92 с.

Учебное издание

Составители:

БАЛАБАНОВ Виктор Иванович
ЖУРАВЛЕВА Лариса Анатольевна
МАРТЫНОВА Наталья Борисовна
АБДУЛМАЖИДОВ Хамзат Арсланбекович
МАКАРОВ Александр Алексеевич

ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА

Учебное пособие

Корректура и стиль автора сохранены

Подписано в печать . формат 60×90/16
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 8. Тираж 500 экз. Заказ .
Отпечатано в ООО «Издательство «Амирит»