

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Программа, методические указания и контрольные задания для студентов специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации 1-36 05 01 01 «Машины и оборудование лесной промышленности» очной и заочной форм обучения

Минск 2008

УДК 625 08(075.8)
ББК 39.311-06-5я73
Д69

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители:

А. И. Смян, В. А. Симанович, В. А. Демидов

Рецензент

зав. кафедрой транспорта леса БГТУ кандидат технических наук,
доцент *М. Т. Насковец*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2008 год. Поз. 116.

Для студентов специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации 1-36 05 01 01 «Машины и оборудование лесной промышленности» очной и заочной форм обучения.

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

На предприятиях лесного комплекса значительно возрастают объемы и потребности в механизации дорожно-строительных работ. Для выполнения планов по строительству лесовозных автомобильных дорог широко применяются машины для земельных работ – бульдозеры, скреперы, автогрейдеры, укатывающие машины.

В настоящее время имеет место значительное повышение скоростей протекания рабочих процессов и производительности машин, вытеснение прицепных машин самоходными, применение гидродинамических и гидрообъемных передач. Поэтому при изучении конструкций дорожно-строительных машин, их проектировании перед студентами возникают вопросы, решению которых и призвано служить данное пособие.

Настоящие методические указания отражают сущность и основные задачи изучения курса дорожно-строительных машин для студентов специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации 1-36 05 01 01 «Машины и оборудование лесной промышленности» очной и заочной форм обучения.

Они содержат краткую техническую характеристику и конструктивные особенности машин для земляных работ. Кроме того, приводится методика тягового расчета, т. е. определение величины сопротивлений, преодолеваемых дорожно-строительными машинами, что дает возможность определить потребную мощность двигателя, подобрать стандартный двигатель. Приводится методика расчета производительности машин. Все эти сведения позволят студентам успешно освоить программу курса «Дорожно-строительные машины».

1. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Введение

Настоящие методические указания составлены применительно к программе курса «Дорожно-строительные машины» для специализации 1-36 05 01 01 «Машины и оборудование лесной промышленности».

Методические указания включают два контрольных задания: контрольная работа № 1 касается конструктивных особенностей дорожно-строительных машин (ДСМ); контрольная работа № 2 рассматривает проведение тяговых расчетов ДСМ и их производительности.

1.1. Общие сведения

В настоящее время строительство дорог в лесу и уход за ними в процессе эксплуатации выполняются с помощью разнообразных дорожных машин.

Дорожно-строительные машины классифицируют по назначению, характеру работы, мощности двигателя и другим признакам. Основным классификационным признаком является назначение ДСМ. Применительно к составу и специфике работы ДСМ классифицируют на следующие группы:

- 1) для подготовительных работ – кусторезы, корчеватели, рыхлители;
- 2) для земляных работ – бульдозеры, скреперы, грейдеры, автогрейдеры, экскаваторы, канавокопатели;
- 3) для уплотнения грунтов и дорожных покрытий – катки, вибрационные и трамбующие машины;
- 4) для устройства проезжей части автомобильных дорог – фрезы, автогудронаторы, грунтосмесительные машины и др.;
- 5) для устройства и эксплуатации зимних дорог – снегоочистители и др.

По характеру работы дорожно-строительные машины подразделяются на машины непрерывного и циклического действия. Машины непрерывного действия совершают рабочий процесс непрерывно (катки и др.). Для машин циклического действия

характерно, что процесс их работы состоит из повторяющихся циклов, которые включают в себя несколько различных операций. Типичными представителями этого вида машин являются бульдозеры, скреперы, экскаваторы.

Величина сопротивлений, преодолеваемых дорожно-строительными машинами, определяет требуемую мощность двигателя, что должно учитываться при проектировании этих машин. Основным сопротивлением, преодолеваемым землеройными и землеройно-транспортными машинами, является сопротивление резанию и копанию грунта. Сопротивление, преодолеваемое дорожными машинами, имеющими отвал с ножом, можно разделить на следующие отдельные сопротивления: резанию грунта, перемещению грунта вверх по отвалу; перемещению грунта, находящегося перед отвалом; перемещению грунта в сторону (при условии, когда отвал может быть развернут по отношению направления движения машины); перемещению самой машины как повозки. Величина этих сопротивлений не остается одинаковой за время рабочего цикла.

Указанные сопротивления уравниваются силой, развиваемой двигателем тяговой машины. Землеройно-транспортные машины для преодоления суммарного сопротивления обычно движутся на первой передаче. Нормальная работа трактора возможна только при условии, когда общее сопротивление несколько меньше тягового усилия машины.

Производительность дорожно-строительных машин подразделяют на теоретическую, техническую и эксплуатационную.

При расчете теоретической производительности не учитывают потери времени, возникающие от несоответствия расчетных и действительных скоростей движения, особенностей систем управления и др. Под технической понимают максимально возможную производительность в определенных условиях работы. При расчете эксплуатационной, или фактической, производительности дополнительно учитываются потери времени на подготовку машин к работе и нулевой пробег.

1.2. Машины для подготовительных работ

Классификация, назначение, условия и область применения, технико-экономические показатели производства работ. Корчеватели. Общие сведения. Геометрия рабочих органов. Конструкция, нагрузки,

возникающие в рабочих органах. Силы, действующие на корчеватель при его работе. Производительность корчевателя.

Кусторезы. Общие сведения. Геометрия и конструкция рабочих органов. Схема усилий, действующих на кусторез. Производительность кустореза.

Рыхлители. Общие сведения. Определение основных параметров рыхлителей. Конструкция и нагрузки, действующие на рыхлители при их работе. Производительность рыхлителя.

1.3. Землеройно-транспортные машины

Общие сведения. Классификация, назначение, условия и область применения, технико-экономические показатели производства работ. Агрегатирование землеройно-транспортных машин с базовыми тягачами.

Бульдозеры. Общие сведения. Геометрия отвала. Силы сопротивления при работе бульдозера. Проверка устойчивости бульдозера. Автоматизация управления. Производительность бульдозера. Лесодорожные машины. Общие сведения. Геометрия рабочих органов. Силы сопротивления, возникающие при их работе. Производительность.

Скреперы. Общие сведения. Определение основных параметров скреперов. Конструкция основных узлов. Определение сил сопротивления, действующих на скрепер при его работе. Автоматизация управления. Производительность скреперов.

Автогрейдеры. Общие сведения. Классификация. Устройство. Основные параметры автогрейдеров. Силы сопротивления, возникающие при работе автогрейдеров. Автоматизация управления. Производительность автогрейдеров.

Одноковшовые экскаваторы. Индексация экскаваторов. Назначение и классификация. Конструктивные и кинематические схемы. Рабочее оборудование. Схема действующих усилий на рабочее оборудование и основные расчетные положения. Расчет устойчивости экскаваторов с канатно-блочной системой. Производительность одноковшовых экскаваторов. Гидравлические экскаваторы. Расчет сил, действующих на гидравлический экскаватор. Расчет поперечной и продольной устойчивости. Производительность гидравлических экскаваторов.

1.4. Машины для разработки мерзлых грунтов

Машины динамического действия. Назначение и классификация.

Клиновые рыхлители ударного действия. Основные параметры клиновых рыхлителей. Производительность машин для разработки мерзлых грунтов.

1.5. Машины для уплотнения земляного полотна дорожных оснований и покрытий

Физические основы уплотнения грунтов машинами. Методы уплотнения. Кулачковые катки. Классификация и устройство. Расчет основных параметров кулачковых катков. Производительность кулачковых катков.

Катки прицепные на пневматических шинах, область и условия их применения. Самоходные катки на пневматических шинах. Классификация и устройство. Колесная схема. Оптимальная толщина уплотняемого слоя грунта. Производительность катков на пневмошинах. Катки вибрационные. Устройство. Расчет возмущающей и центробежной сил. Расчет сопротивлений, возникающих при работе катков. Тяговый расчет. Расчет производительности.

1.6. Машины для добычи и переработки каменных материалов

Физико-механические свойства каменных материалов. Способы дробления. Машины и оборудование для буровзрывных работ в карьерах. Область и условия применения. Дробилки. Классификация и устройство. Расчет основных положений и производительности. Грохоты и гравиемойки. Дробильно-сортировочные установки и заводы.

1.7. Машины и оборудование для постройки усовершенствованных и асфальтобетонных дорожных покрытий

Оборудование для перевозки, хранения, перекачивания и распределения битуминозных материалов. Битумовозы.

Нагревательно-перекачивающие агрегаты. Битумные насосы. Автогудронаторы.

Машины для строительства улучшенных и усовершенствованных оснований, облегченных дорожных покрытий.

Дорожные фрезы. Распределители цемента. Грунтосмесители. Машины для смешения дорожно-строительных материалов. Оборудование для приготовления битумоминеральных смесей. Асфальтно-смесительные установки. Агрегаты питания. Сушильные агрегаты. Топливные баки. Пылеулавливающие устройства. Агрегаты минерального порошка. Нагреватели и дозаторы битума. Смесительные агрегаты.

1.8. Машины для ремонта и содержания автомобильных лесовозных дорог

Машины для ремонта и летнего содержания автомобильных лесовозных дорог. Машины для очистки кюветов. Подметально-уборочные машины. Ремонтеры. Комбинированные машины-ремонтеры для ремонта дорожных одежд автомобильных дорог. Поливочно-мочные машины. Машины для зимнего содержания автомобильных лесовозных дорог. Физико-механические свойства снега. Водополивающие машины. Водоструйные установки для прочистки труб. Плужные снегоочистители. Роторные снегоочистители. Тяговый расчет плужных и роторных снегоочистителей. Расчет производительности.

1.9. Эксплуатация дорожно-строительных машин

Основные сведения по эксплуатации машин. Приемка, монтаж, обкатка и ввод в эксплуатацию. Режимы работы машин. Организационные формы управления парком машин. Основные показатели работы машин. Консервация машин. Организация технического обслуживания и ремонта дорожно-строительных машин. Ремонтно-механические мастерские. Организация ремонта. Планирование и учет технического обслуживания и ремонта.

1.10. Техника безопасности при работе на дорожно-строительных машинах

Общие требования охраны труда и техники безопасности. Основы гигиены труда и профилактики травматизма. Техника безопасности при обращении с горюче-смазочными веществами. Правила техники безопасности при работе с электроаппаратурой. Противопожарная безопасность.

1.11. Основы дорожного дела

Сухопутный транспорт леса. Безрельсовый и рельсовый транспорт. Классификация лесовозных автодорог. Основные элементы и технические характеристики пути. Условный и развернутый план дороги. Переходные кривые. Виражи. Уширение проезжей части дороги. Продольный профиль дороги. Проектная линия продольного профиля дороги (обертывающая, секущая). Методика построения продольного профиля. Определение объема земляных работ. Поперечные профили дорог. Лесовозные железные дороги. Верхнее и нижнее строения железных дорог.

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

С целью обеспечения контроля над работой студентов-заочников и лучшего усвоения ими теоретического курса учебным планом предусмотрено выполнение двух контрольных работ объемом в одну ученическую тетрадь каждая. Варианты контрольных работ, приведенные в таблицах методички, выбираются по последней цифре номера зачетной книжки студента. При выполнении контрольных работ необходимо использовать материалы учебников и учебных пособий, указанных в литературных источниках. Ответы на вопросы контрольной работы № 1 должны быть содержательными, иллюстрированными необходимыми рисунками, схемами (допускаются ксерокопии), полностью отражающими конструкцию и работу ДСМ.

Студентам, контрольная работа которых допущена к собеседованию, высылается рецензия с замечаниями, ответы на которые студент дает в период сессии. Не допущенные к собеседованию контрольные работы возвращаются студентам для работы над ошибками и повторно высылаются на рецензию.

2.1. Контрольная работа № 1

Номера вопросов, на которые студентам необходимо дать исчерпывающие ответы, приведены в таблице. Выбор варианта осуществляется по последней цифре номера зачетной книжки студента.

Таблица

Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номера вопросов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

1. Классификация и условия работы ДСМ.
2. Силовое оборудование ДСМ.
3. Силовые передачи ДСМ. Классификация, достоинства и недостатки.
4. Ходовое оборудование ДСМ. Колесное, гусеничное; достоинства и недостатки.
5. Системы управления ДСМ.
6. Грунты как среда для работы землеройных машин. Физико-механические свойства грунтов.
7. Машины для подготовительных работ. Классификация, область применения.
8. Рабочие органы машин для земляных работ и их взаимодействие со средой.
9. Корчеватели. Классификация, общее устройство.
10. Рыхлители. Классификация, общее устройство. Рабочее оборудование.
11. Кусторезы. Общие сведения. Классификация, общее устройство. Рабочие органы.
12. Землеройно-транспортные машины. Общие сведения. Классификация, условия работы.
13. Бульдозеры. Общие сведения. Классификация. Силы, действующие на бульдозер.
14. Геометрия рабочего органа бульдозера. Устойчивость. Технологические схемы работы.

15. Скреперы. Общие сведения. Классификация. Силы, действующие на скрепер.
16. Силовые параметры рабочего органа скрепера. Способы разгрузки грунта.
17. Автогрейдеры. Общие сведения. Классификация. Устройство, силовые параметры.
18. Колесные формулы автогрейдеров. Рабочие органы. Работы, выполняемые автогрейдерами. Технологические схемы работ.
19. Одноковшовые экскаваторы. Общие сведения. Индексация экскаваторов.
20. Рабочие органы экскаваторов. Статический расчет экскаваторов. Силы, действующие на экскаватор с прямой и обратной лопатой.
21. Силы, действующие на экскаватор типа «драглайн». Производительность.
22. Машины и оборудование для уплотнения дорожных покрытий. Общие сведения. Способы уплотнения.
23. Машины статического уплотнения. Классификация. Конструкция.
24. Машины вибрационного уплотнения. Классификация. Конструкция.
25. Машины для разработки мерзлых грунтов. Классификация. Баровые машины.
26. Машины ударного разрушения грунтов.
27. Машины для переработки каменных материалов. Способы дробления. Сорты щебня.
28. Дробилки. Классификация и устройство.
29. Щековые и конусные камнедробилки. Классификация. Конструкция.
30. Моечные и сортировочные машины.
31. Технологические схемы дробильно-сортировочных установок.
32. Машины и оборудования для работы с битумом. Битумохранилища. Автогудронаторы.
33. Машины и оборудования для перемешивания дорожно-строительных материалов.
34. Погрузочно-разгрузочные машины. Фронтальные погрузчики.
35. Машины и оборудование для буровзрывных и свайных работ.
36. Машины и оборудование для асфальтобетонных покрытий.

37. Машины и оборудование для приготовления цементно-бетонных смесей.

38. Машины и оборудование для зимнего содержания дорог. Классификация. Физико-механические свойства снега.

39. Плужные снегоочистители. Классификация. Производительность.

40. Снегоочистительные машины с метательным рабочим органом. Классификация. Конструкция.

41. Основы дорожного дела. Сухопутный транспорт леса.

42. Классификация автомобильных дорог. Понятие пути и элементы лесовозной дороги.

43. Основные технические характеристики пути.

44. План дороги. Условный и развернутый план.

45. Переходные кривые. Виражи. Уширение проезжей части дороги.

46. Продольный профиль дороги. Проектная линия дороги.

47. Поперечные профили автодорог.

48. Определение руководящего подъема и спуска продольного профиля.

49. Лесовозные железные дороги. Общие сведения. Классификация.

50. Верхнее и нижнее строения лесовозных железных дорог.

2.2. Контрольная работа № 2

Контрольная работа № 2 включает расчетную часть курса «Дорожно-строительные машины». При этом производится расчет следующих показателей:

1. Определение общего сопротивления, возникающего при работе ДСМ и его составляющих;

2. Определение потребной мощности двигателя;

3. Проверка соответствия максимального сопротивления ДСМ по ограничению силы сцепления и тягового усилия базовой машины;

4. Расчет производительности.

Данные расчеты студент производит для машин, используемых при проведении подготовительных (кусторезы, корчеватели, рыхлители) и землеройно-транспортных работ (бульдозеры, скреперы, автогрейдеры, катки).

Расчеты следует производить с необходимыми пояснениями, ссылками на источники. Особое внимание следует обращать на

соблюдение размерности величин, входящих в формулы, иначе конечные результаты не будут соответствовать действительности.

Исходные данные для расчета приведены в таблицах, и вариант выбирается по последней цифре номера зачетной книжки студента. Недостающие данные следует выбирать из таблиц, приведенных в приложении, или из литературных источников.

Перед проведением необходимых расчетов в краткой, сжатой форме по каждому виду ДСМ необходимо представить общие сведения по машине, конструктивные особенности и виды выполняемых работ.

3. МЕТОДИКА ТЯГОВОГО РАСЧЕТА МАШИН ДЛЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Трассы или площадки для возведения земляных сооружений должны быть подготовлены для развертывания на них строительных работ. Поэтому вначале производятся так называемые подготовительные работы. К подготовительным работам относятся: расчистка территории или полосы от леса и кустарника; удаление пней, корней, крупных камней, а иногда растительного слоя; предварительное рыхление тяжелых глин, суглинков и каменистых грунтов, которые неэффективно разрабатывать землеройными машинами. Для выполнения этих работ применяют специальные машины: кусторезы, корчеватели-собиратели и рыхлители.

3.1. Кусторезы

Кусторезы предназначаются для расчистки строительных участков от кустарника и мелколесья. Их используют в автодорожном и железнодорожном строительстве при прокладке трассы дороги, а также при устройстве просек в лесных массивах, освоении новых земель и мелиоративных работах в сельском хозяйстве. Зимой кусторезы могут быть использованы для очистки дорог и строительных участков от снега, а также для снегозадержания.

Кусторез является передним навесным оборудованием гусеничного трактора. Оборудование кустореза состоит из универсальной рамы, рабочего органа, ограждения трактора. Срезание кустарника и деревьев производится ножами, которые болтами прикреплены к нижним кромкам рамы рабочего органа. В передней

части рамы приварен носовой лист для раскалывания пней и раздвигания сваленных деревьев.

Универсальная рама используется при навеске на трактор не только отвала кустореза, но и другого оборудования (корчевателя, граблей, бульдозера, снегоочистителя и др.). В целях смягчения ударов отвала о толкающую раму и ограничения его поворота на шаровой головке с правой и левой сторон каркаса отвала установлены два амортизатора из листовой резины. Для защиты кабины трактора от падающих деревьев и сучьев кусторез оборудован ограждением, сваренным из труб и покрытым над кабиной стальным листом.

Для заточки ножей в процессе работы кусторезы снабжаются заточным приспособлением, состоящим из заточной головки с наждачным кругом, гибкого вала и механизма привода, работающего от переднего конца коленчатого вала дизеля или редуктора привода гидронасосов трактора.

Срезанные кусторезами кустарник и мелколесье целесообразно измельчить и использовать полученную щепу прежде всего на топливо. Для измельчения кустарника и мелколесья применяются рубильные машины отечественного и зарубежного производства. Помимо пассивного рабочего органа используют также активный – фрезерный с гидравлическим управлением.

3.2. Корчеватель

Корчеватель является навесным оборудованием к гусеничному трактору или мощному колесному тягачу. В зависимости от расположения рабочего органа на базовом тракторе или тягаче различают корчеватели переднего и заднего расположения. По типу системы управления рабочим органом корчеватели бывают с канатным и гидравлическим приводом. Рабочим органом корчевателей, навешиваемых на трактор спереди, является отвал, снабженный изогнутыми зубьями. Отвал монтируется на толкающей раме, которая своими задними концами шарнирно крепится к лонжеронам трактора. Установка отвала может быть жесткая и с возможностью поворота относительно рамы в вертикальной плоскости. В последнем случае корчевка пней, камней производится не только за счет тягового усилия, но и с помощью поворота отвала.

В целях увеличения производительности при сборе выкорчеванных пней и кустарника на корчевательные рамы

устанавливают уширители. Такие машины называются корчевателями-собираателями. На ряд корчевателей вместо корчевателей отвала могут устанавливаться сменные бульдозерные отвалы и кусторезы, что расширяет сферу применения таких машин.

У корчевателей с задней навеской рабочего органа последний устанавливается на заднем мосту трактора и состоит из вертикальной стойки, трапециевидной толкающей рамы и двух массивных двуплечих рычагов (клыков). Клыки жестко связаны между собой и установлены на общей оси толкающей рамы, относительно которой они могут поворачиваться при помощи канатного или гидравлического привода, производя таким образом корчевку. Работа трактора при этом осуществляется задним ходом.

Тяговый расчет корчевателя-собираателя. Для выполнения расчетов принимается вариант задания с указанием марки корчевателя (табл. 3.1).

Последовательность выполнения тягового расчета:

- 1) определить отдельные сопротивления, возникающие в заключительной стадии цикла;
- 2) определить суммарное сопротивление, возникающее в заключительной стадии цикла;
- 3) сопоставить величину суммарного сопротивления с тяговыми возможностями машины, а также сделать вывод о возможности толкающего тягового усилия по условиям сцепления.

Общее сопротивление при работе корчевателя-собираателя можно определить по формуле

$$\sum W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, \quad (3.1)$$

где W_1 – усилие, необходимое для корчевки пней;

W_2 – сопротивление грунта рыхлению;

W_3 – сопротивление волочению кустарников, деревьев, камней и т. п. по грунту;

W_4 – сопротивление движению трактора с рабочим оборудованием.

Усилие W_1 можно определить по данным, приведенным ниже:

Диаметр пня, см	10	20	30	40	50
Усилие, кН	18–20	50–55	75–95	195–160	180–210

$$W_2 = kbhp, \quad (3.2)$$

где k – коэффициент сопротивления рыхлению грунта; $k = 40\text{--}50$ кН/м² для дернового покрова и грунтов без корней; $k = 100\text{--}200$ кН/м² и более для грунтов со значительным содержанием корней кустарника;

b – ширина отвала (захвата), м;

h – глубина рыхления зубьями, м;

p – коэффициент неполноты рыхления, учитывающий, что часть грунта между зубьями остается неразрыхленной; $p = 0,4\text{--}0,6$.

$$W_3 = (G_{\text{тр}} + G_1)(f_{\text{тр}} + i), \quad (3.3)$$

где $G_{\text{тр}}$ – сила тяжести трактора, кН;

G_1 – сила тяжести навесного оборудования, монтируемого на тракторе, кН;

$f_{\text{тр}}$ – коэффициент сопротивления движению трактора с навесным оборудованием; $f_{\text{тр}} = 0,08\text{--}0,15$;

i – уклон пути.

$$W_4 = G_2 f_2, \quad (3.4)$$

где G_2 – сила тяжести кустарника, деревьев или камней, перемещаемых отвалом, кН;

f_2 – коэффициент сопротивления перемещению кустарника, деревьев или камней по грунту; для камней $f_2 = 0,5\text{--}0,6$, а для кустов и деревьев $f_2 = 0,4\text{--}0,5$.

Потребная мощность двигателя может быть определена, кВт:

$$N = \frac{Wv}{3600\eta}, \quad (3.5)$$

где v – скорость движения трактора, км/ч;

η – к.п.д. силовой передачи трактора.

Работа корчевателя возможна только в том случае, когда соблюдено неравенство

$$P_{\text{т}} k_d \geq W, \quad (3.6)$$

где $P_{\text{т}}$ – толкающее усилие трактора, кН;

$$P_{\text{т}} = (G_{\text{тр}} + G_1)(f_{\text{сц}} \pm i), \quad (3.7)$$

где $f_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления гусениц с грунтом; $f_{\text{сц}} = 0,6\text{--}1,0$;

k_d – коэффициент динамичности; $k_d = 1,5\text{--}2,5$.

Усилие $P_{\text{т}} k_d$ является расчетным для оценки прочности элементов корчевателя, т. е. толкающей рамы и отвала.

Производительность корчевателя на уборке срезанных кустов и древесины можно определить по формуле

$$\Pi = \frac{bv(tk_{\text{в}} - \frac{n_1 t_1}{60})}{10n}, \quad (3.8)$$

где b – ширина захвата, м;

v – скорость движения, км/ч (II–III скорости трактора);

n_1 – число поворотов в конце участка;

t_1 – время, затрачиваемое на один поворот, мин;

n – число проходов корчевателя по одному месту (1–2);

t – продолжительность смены, ч;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования машины по времени.

3.3. Рыхлители

Назначение. Рыхлители применяют для послойного разделения горных пород на отдельные куски или глыбы таких размеров, которые удобны для последующей разработки, погрузки и транспортирования.

Рыхлителями удаляют из грунта крупные камни, пни, взламывают булыжные мостовые и дорожные покрытия при ремонте и реконструкции дорог. Они обычно используются в комплекте с другими машинами: бульдозерами, скреперами, погрузчиками и экскаваторами. Применение рыхлителей на разработке тяжелых грунтов (III–IV категории) увеличивает производительность работающих с ними машин в 3–5 раз.

В зависимости от мощности тягача и конструкции рыхлители могут работать на различных горных породах.

Плохо работают рыхлители на скальных породах вулканического происхождения: граните, базальте. Экономически выгодно рыхлить осадочные горные породы: песчаник, глинистый сланец, известняки, доломит, мергель, а также выветрившиеся разрушенные скальные породы вулканического происхождения. Такие горные породы, как мрамор, гнейс, кварцит и другие породы метаморфического происхождения, хорошо разрушаются рыхлителями при наличии трещин и прослоек. Повышение влажности горных пород обычно облегчает процесс рыхления.

Возможно применение рыхлителей на разработке мерзлых грунтов. Рыхлители используются в дорожном, железнодорожном и гидротехническом строительстве, а также при разработке каменных карьеров и в горнорудной промышленности.

Рыхлители классифицируют по главному параметру – максимальной силе тяги по сцеплению $T_{сц}$ базового трактора:

$T_{сц}$, кН	30	40	100	150	200	350
Максимальное заглубление, мм	300	350	400	500	700	900

Если тяговое усилие равно 30–100 кН, рыхлители считают легкими, 100–150 кН – средними, 250 кН – тяжелыми и 500 кН – сверхтяжелыми.

Помимо классификации по тяговому усилию рыхлители подразделяют по мощности двигателя базовой машины: легкие – меньше 120 кВт, средние – 120–250 кВт, тяжелые – 300–500 кВт и сверхтяжелые – 550–1000 кВт.

Рыхлителями эффективно разрабатываются мерзлые и многие крепкие грунты. Разработка ими этих грунтов с транспортированием их на расстояние менее 4 км мощными скреперами с усиленными ковшами в 3–4 раза дешевле, чем рыхление взрывом и погрузка экскаватором с отвозкой в автосамосвалах, в 2–3 раза дешевле, чем при использовании погрузчика, и в 8–10 раз дешевле, чем с использованием при рыхлении клин-бабы. Производительность труда по сравнению с рыхлением взрывом и экскаваторной погрузкой возрастает с 78–80 м³/чел.-смен до 220–300 м³/чел.-смен.

Применяют три основные схемы навесных устройств рыхлителей, которые отличаются механизмами опускания зубьев при заглублении и их подъеме (выглублении): радиальная (трехзвенная), параллелограммная (четырёхзвенная) и параллелограммная регулируемая. Особенностью каждой из этих схем является то, что траектория движения режущей части рабочего органа различна.

Тяговый расчет рыхлителя. Данная методика расчета аналогична методике тягового расчета корчевателя. Кроме того, дополнительно рассчитывается производительность рыхлителя. Исходные данные для задания берутся из табл. 3.1.

Потребную для работы рыхлителя силу тяги определяют по суммарному сопротивлению ΣW , кН:

$$\Sigma W = W_1 + W_2, \quad (3.9)$$

где W_1 – сопротивление грунта рыхлению, кН;
 W_2 – сопротивление перемещению рыхлителя, кН.

$$W_1 = kbh_n, \quad (3.10)$$

где k – удельное сопротивление рыхлению, равное 15–25 кН;
 b – ширина рыхлящего зуба, см;
 n – число рыхлящих зубьев;
 h – глубина рыхления, см.

$$W_2 = (G_{\text{тр}} + G_{\text{н.о}})(f + i), \quad (3.11)$$

где $G_{\text{тр}}$ – сила тяжести массы трактора, кН;
 $G_{\text{н.о}}$ – сила тяжести массы навесного оборудования, кН;
 f – коэффициент сопротивления движению трактора, равный 0,1–0,15;
 i – уклон пути трактора, %.

Производительность рыхлителя. После работы рыхлителя горная порода оказывается подготовленной для перемещения бульдозером, скрепером или для разработки погрузчиком.

На грунтах с большой степенью трещиноватости для необходимой степени рыхления грунтов к разработке другими машинами бывает достаточно только продольных или поперечных параллельных резов на расстоянии $b \approx 2h$, где h – глубина одного реза.

При плотных горных породах необходимо рыхление в перекрестных направлениях.

На трудно поддающихся разработке грунтах рыхление производят в диагональных направлениях по отношению к проходам бульдозера, убирающего разрыхленную породу.

Производительность рыхлителя, м³/ч, определяется следующим образом:

$$\Pi = \frac{1000v_p b h_p}{k_1 k_2}, \quad (3.12)$$

где v_p – расчетная скорость движения рыхлителя, км/ч; $v_p \approx 0,8v$;
 v – скорость тягача рыхлителя на первой передаче;
 b – расстояние между резами, м, $b \approx 2h_p$;

h_p – расчетная глубина рыхления; $h_p \approx (0,6-0,8)h$, меньшее значения принимаются при крупном рыхлении;

h – максимальное заглубление зубьев рыхлителя, м;

k_1 – коэффициент, учитывающий характер проходов; $k_1 = 1$ при параллельных резах; $k_1 = 2$ при перекрестных резах;

k_2 – число проходов по одному и тому же резу.

Исходные данные для тягового расчета приведены в таблице.

Таблица

Данные для выполнения тягового расчета

Название	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка кустореза	Д-306	КБ-2,8	К-3,2А	ДП-24	ДП-4	КБ-4,0	МА-1	Д-306	КБ-2,8	К-3,2А
Длина рабочего участка, м	10	90	80	100	90	80	150	140	130	120
Количество проходов по одному следу	2	1	3	1	2	3	2	1	2	1
Марка корчевателя	МП-7А	ДП-2А	ДП-3А	ДП-25	КБК-100	Д-440	ДП-20	ДП-21	ДП-1	ДП-27
Количество проходов по одному следу	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
Глубина рыхления, мм	250	30	350	250	300	350	250	300	350	400

Окончание таблицы

Название	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка рыхлителя	ДП-50	ДП-18	ДП-22С	ДП-16С	ДП-26С	ДП-9С	ДЗ-90С	ДЗ-116А	ДЗ-35С	ДП-14
Длина рабочего участка, м	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80
Количество проходов по одному следу	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3

4. МЕТОДИКА ТЯГОВОГО РАСЧЕТА ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

4.1. Бульдозеры

Бульдозеры предназначены для послойного срезания и перемещения грунта на расстояние до 50–100 м. Их применяют при разработке гравийно-песчаных карьеров, выемок, возведении насыпей из боковых резервов, на планировочных работах, для очистки дорог от снега, валки деревьев, подталкивания скреперов при загрузке и др.

Бульдозер является навесным оборудованием к гусеничным тракторам и пневмоколесным тягачам. Различают бульдозеры общего назначения и специальные. Первые предназначены для землеройно-планировочных и других строительных работ, вторые – для узкоспециализированных работ (перемещение различных материалов в стесненных условиях и т. д.)

Бульдозеры классифицируются: по системе управления отвалом – механическим (канатно-блочным) и гидравлическим; по способу установки отвала – с неповоротным (неуниверсальные) и поворотным (универсальные); по мощности силовой установки и номинальному тяговому усилию (см. табл. 4.1).

По назначению различают бульдозеры общего назначения и специальные.

Бульдозеры общего назначения используют для выполнения основных видов землеройно-транспортных и вспомогательных работ на различных грунтах и в климатических условиях умеренной зоны с температурой окружающей среды $\pm 40^{\circ}\text{C}$, холодного климата с температурой воздуха до -60°C , а также в условиях тропиков с температурой до 50°C . Имеют переднее расположение отвала.

Таблица 4.1

Классификация бульдозеров по номинальному тяговому усилию и мощности двигателя

Тип	Тяговое усилие, кН	Мощность двигателя, кВт
Сверхтяжелые	300	220
Тяжелые	200–300	110–220

Средние	140–200	55–110
Легкие	30–140	25–55
Малогобаритные	30	25

Специальные бульдозеры предназначены для выполнения целевых работ в специфических грунтовых или технологических условиях.

Выпускают следующие виды бульдозеров – путеукладчики, используемые при прокладке дорог и путей, бульдозеры-толкачи – для работы со скреперами, трюмные бульдозеры – для штабелирования материалов и полезных ископаемых в трюмах теплоходов, подземные бульдозеры – для работы в шахтах и штольнях, подводные бульдозеры – для работы в воде. Имеют заднее расположение отвала.

По типу ходовой части тягача выделяют бульдозеры на гусеничном и пневматическом ходе, по приводу рабочего органа – бульдозеры с канатным и гидравлическим управлением.

Гусеничный бульдозер распространен наиболее широко, так как может быть использован в тяжелых грунтовых условиях.

Колесный бульдозер применяют при работе в более легких дорожных условиях и необходимости часто перебазироваться с объекта на объект.

По конструкции рабочего оборудования различают бульдозеры с неповоротным отвалом, поворотным отвалом в плане, универсальные и бульдозеры-погрузчики.

В бульдозерах с неповоротным отвалом он установлен перпендикулярно продольной оси машины неподвижно или с небольшим угловым качанием в поперечной плоскости.

В бульдозерах с поворотным отвалом его можно поворачивать на определенный угол в обе стороны от основного положения.

Универсальные бульдозеры оборудованы шарнирно-сочлененным отвалом из двух одинаковых частей, которые могут быть установлены перпендикулярно продольной оси машины, под углом в одну сторону или под углом в разные стороны.

Бульдозеры-погрузчики характеризуются тем, что на подъемной стреле шарнирно установлен отвал; вместо него можно навешивать грузовой ковш или другие виды сменного оборудования.

По форме рабочего органа различают прямой, полусферический, сферический отвалы.

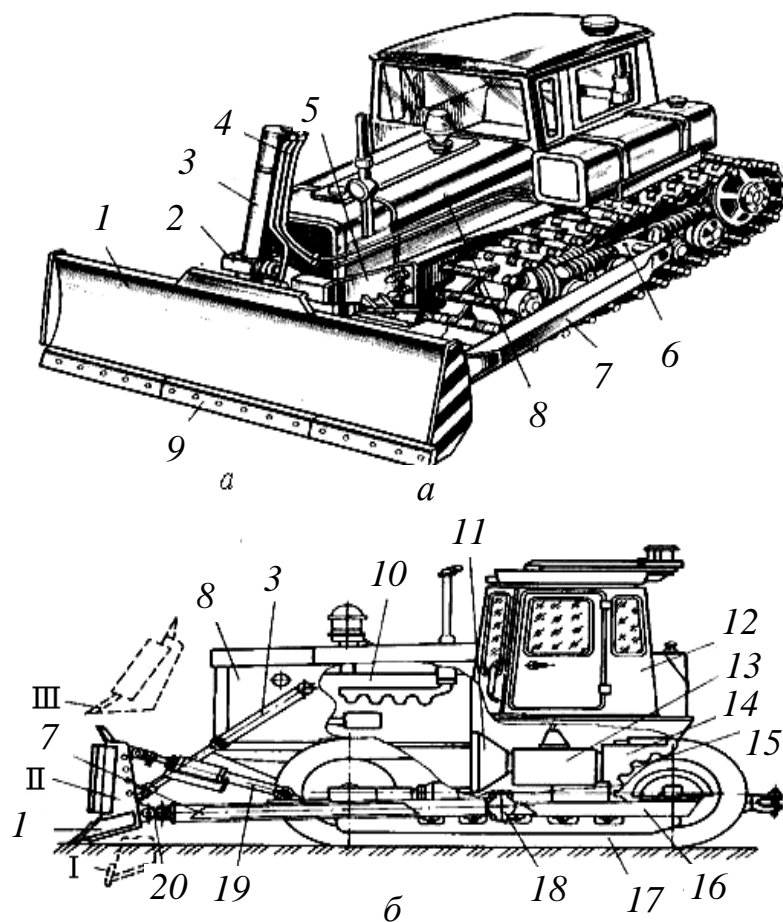


Рис. 4.1. Гусеничные бульдозеры с неповоротными отвалами:
а – с жесткими толкающими брусьями; *б* – с шарнирными брусьями: 1 – отвал;
 2 – несущая рама; 3 – гидроцилиндр подъема-опускания отвала; 4 – рукав;
 5 – подрамник; 6 – поперечная балка; 7 – толкающий брус; 8 – трактор; 9 – нож;
 10 – двигатель; 11 – муфта сцепления; 12 – кабина; 13 – коробка передач;
 14 – задний мост; 15 – звездочка; 16 – гусеничная тележка; 17 – гусеница;
 18 – шарнир; 19 – гидрораскос; 20 – универсальный шарнир; положение отвала:
 I – нижнее; II – рабочее; III – транспортное

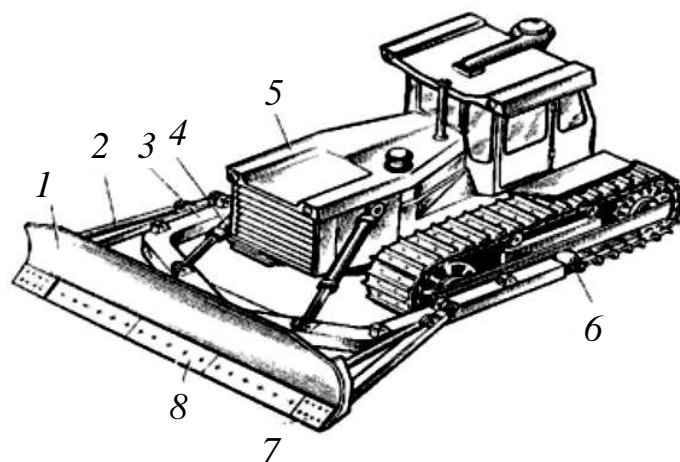


Рис. 4.2. Гусеничный бульдозер с поворотным отвалом:
 1 – отвал; 2 – толкатель с откосом; 3 – рама; 4 – гидроцилиндр;
 5 – трактор; 6 – шарнир; 7, 8 – ножи

У прямого отвала одинаковая форма по всей ширине. Концы полусферического отвала загнуты вперед на ширину боковых ножей. В сферическом отвале боковые секции выдвинуты вперед на 1/3 ширины.

По назначению отвалы подразделяют на землеройный, скальный, снежный, угольный, а также отвалы для толкания скреперов, уборки древесных отходов, мусора.

Землеройный отвал используют при разработке грунтов и насыпных материалов. Скальный отвал с лобовым листом большей толщины и усиленной металлоконструкцией предназначен для перемещения горных пород и крупнокусковых материалов. Снежный отвал, состоящий из двух половин, установленных под определенным углом один к другому, применяют при уборке снега. Угольный отвал используют при складировании материалов. Отвал для толкания скреперов усиливают в средней части толстым листом. Отвалы для уборки древесных отходов и мусора изготавливают больших размеров и снабжают прорезным козырьком.

Тяговый расчет бульдозера. Исходные данные принимаются по табл. 4.1.

Последовательность выполнения упражнения:

- 1) определить отдельные сопротивления, возникающие в процессе работы;
- 2) определить суммарное сопротивление, возникающее на заключительной стадии цикла;

- 3) найти потребную мощность двигателя базового трактора;
- 4) сделать вывод о соответствии мощности двигателя трактора и мощности, потребной при работе в заданных условиях;

5) при дефиците мощности двигателя базового трактора принять меньшую величину заглубления и произвести перерасчет;

- б) определить производительность бульдозера.

Тяговый расчет бульдозера предусматривает определение прикладываемых усилий, необходимых для преодоления возникающих в процессе работы сопротивлений [6].

Рассмотрим методику тягового расчета применительно к наиболее распространенному способу работы – лобовому толканию грунта при бестраншейном способе работ.

Объем призмы волочения зависит от геометрических размеров отвала и свойств грунта:

$$V_{\text{пр}} = \frac{LH^2}{2k_{\text{пр}}}, \quad (4.1)$$

где L – ширина отвала;

H – высота отвала с учетом козырька;

$k_{\text{пр}}$ – коэффициент, зависящий от характера грунта (связанности, коэффициента рыхления и отношения H/L).

Этот коэффициент получен в результате обработки экспериментальных данных по производительности бульдозеров.

Значения коэффициента $k_{\text{пр}}$ в зависимости от отношения H/L и вида грунта следующие:

отношение H/L	0,15	0,3	0,45
связные грунты I–II категории	0,75	0,78	0,85
несвязные грунты	1,15	1,20	1,5

При транспортировании грунта отвалом бульдозера по горизонтальной площадке возникают сопротивления:

W_1 – сопротивление резанию грунта отвалом;

W_2 – сопротивление перемещению призмы грунта перед отвалом;

W_3 – сопротивление перемещению грунта вверх по отвалу;

W_4 – сопротивление движению бульдозера.

Сопротивление резанию грунта отвалом:

$$W_1 = kLh_1, \quad (4.2)$$

где k – удельное давление лобовому резанию;

L – ширина отвала бульдозера;

h_1 – глубина резания во время перемещения призмы грунта.

Средние значения k при угле резания $\delta = 45\text{--}60^\circ$ составляют, кН/м^2 :

Категория грунта	первая	вторая	третья
Значения k	70	110	170

Сопротивление перемещению призмы волочения:

$$W_2 = V_{\text{пр}}\gamma\mu_2 = G_{\text{пр}}\mu_2, \quad (4.3)$$

где $V_{\text{пр}}$ – фактический объем призмы волочения в плотном теле на горизонтальном участке, м^3 ;

$G_{\text{пр}}$ – сила тяжести призмы волочения, кН ;

γ – удельный вес грунта в плотном теле, кН/м^3 ;

μ_2 – коэффициент трения грунта по грунту.

Для связных грунтов $\mu_2 = 0,5$, для несвязных грунтов $\mu_2 = 0,7$, максимальное значение $\mu_2 = 1,0$.

Сопротивление от перемещения грунта вверх по отвалу:

$$W_3 = G_{\text{пр}} \cos^2\delta\mu_1 \quad (4.4)$$

где δ – угол резания;

μ_1 – коэффициент трения грунта по металлу:

песок и супесь $\mu_1 = 0,35$

средний суглинок $\mu_1 = 0,50$

тяжелый суглинок $\mu_1 = 0,80$

Сопротивление перемещению бульдозера:

$$W_4 = Gf \quad (4.5)$$

где G – сила тяжести трактора и бульдозера, кН ;

$f = 0,1\text{--}0,12$ – коэффициент сопротивления перемещению трактора с бульдозером.

При транспортировании призмы волочения часть ее теряется в боковые валики, поэтому нож бульдозера должен быть заглублен на некоторую величину h_1 для срезания стружки, восполняющей потери грунта в боковые валики. Потери грунта в боковые валики на 1 м пути могут быть оценены коэффициентом $k_{\text{п}}$:

$$V_{\text{в}} = k_{\text{п}}V_{\text{пр}} \quad (4.6)$$

где $V_{\text{в}}$ – объем грунта в боковых валиках в плотном теле на 1 м пути.

Коэффициент k_{π} зависит от свойств грунта:
 для связных грунтов 0,025–0,032
 для несвязных грунтов 0,06–0,07
 Величина заглубления:

$$h_1 = \frac{k_{\pi} V_{\text{пр}}}{L}. \quad (4.7)$$

По суммарному сопротивлению движения

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \quad (4.8)$$

выбирается соответствующая передача так, чтобы

$$P_k \geq W, \quad (4.9)$$

где P_k – касательная (окружная) сила тяги, развиваемая на ведущих колесах тягача или ведущих звездочках гусеничного трактора.

При тяговом расчете бульдозеров с поворотным отвалом необходимо учитывать разложение сил, называемое поворотом отвала в плане на угол φ .

Для бульдозера с поворотным отвалом суммарное сопротивление движению равно:

$$W' = W'_1 + W'_2 + W'_3 + W'_4, \quad (4.10)$$

где

$$\begin{aligned} W'_1 &= W_1 \sin \varphi, \\ W'_2 &= W_2 \sin \varphi, \\ W'_3 &= W_3 \sin \varphi + W''_3, \end{aligned} \quad (4.11)$$

где W''_3 – сопротивление трению, возникающему при движении грунта вдоль отвала;

φ – угол установки отвала бульдозера в плане.

$$W''_3 = V_{\text{пр}} \gamma \mu_1 \mu_2 \cos \varphi, \quad (4.12)$$

При работе бульдозера на подъемах в тяговом расчете необходимо учесть составляющие от массы бульдозера, которые будут изменять величину W'_4 .

В этом случае величина W'_4 определяется:

$$W'_4 = G(f \mu i), \quad (4.13)$$

где i – уклон местности.

При угле наклона местности $\alpha \geq 10^\circ$ расчет следует производить по более точному уравнению:

$$W'_4 = G(f \cos \alpha \pm \sin \alpha). \quad (4.14)$$

Производительность бульдозера. Производительность бульдозера при резании и перемещении грунта, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$\Pi = \frac{3600 V_\phi k_b k_{\text{укл}}}{T_{\text{ц}}}, \quad (4.15)$$

где k_b – коэффициент использования бульдозера по времени; $k_b = 0,80\text{--}0,85$;
 $k_{\text{укл}}$ – коэффициент, учитывающий влияние уклона местности на производительность бульдозера; $k_{\text{укл}}$ определяют по графику;
 $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла, с;
 V_ϕ – объем грунта (в плотном теле) перед отвалом;

$$V_\phi = \frac{LH^2}{2k_{\text{пр}}k_p}, \quad (4.16)$$

где k_p – коэффициент разрыхления грунта.

Длительность цикла определяется следующим образом:

$$T_{\text{ц}} = \frac{l_p}{v_1} + \frac{l_n}{v_2} + \frac{l_p + l_n}{v_3} + 2t_c + t_0, \quad (4.17)$$

где l_p – длина пути резания, м; $l_p = 6\text{--}10$ м;

v_1 – скорость движения трактора при резании, м/с;

v_2 – скорость движения трактора при перемещении грунт, м/с;

v_3 – скорость обратного холостого движения трактора, м/с;

t_0 – время на опускание отвала; $t_0 = 1\text{--}2$ с;

t_c – время на переключение передач; $t_c = 4\text{--}5$ с.

При планировочных работах производительность, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяется:

$$\Pi = \frac{3600l(L \sin \phi - 0,5)k_b}{n\left(\frac{l}{v} + t_n\right)}, \quad (4.18)$$

где l – длина планируемого участка;

L – длина отвала;

ϕ_1 – угол установки отвала в плане;

t_n – время поворота (5–6 с);
 n – число проходов по планируемому участку.

Таблица 4.2

Исходные данные для расчета

Название	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка бульдозера	ДЗ-42	ДЗ-101	ДЗ-104	ДЗ-27С	ДЗ-53	ДЗ-118	ДЗ-34С	ДЗ-59	ДЗ-43	ДЗ-29
Длина пути резания, м	5	6	7	8	9	8	7	6	5	6
Длина пути перемещения, м	60	50	70	80	90	85	75	55	65	60
Тип грунта	Выбирается самостоятельно									
Длина планируемого участка, м	100	80	100	90	95	85	90	100	75	80
Угол установки отвала в плане, град	Для всех вариантов 90°									
Количество проходов по одному следу	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2

4.2. Скреперы

Общие сведения. Скрепер – это землеройно-транспортная машина, предназначенная для послойной разработки, перемещения и отсыпки грунта. Применяют скреперы при разработке различных грунтов – от песчаного до глинистого, причем тяжелые и плотные из них предварительно разрыхляют. Эти машины используют при земляных работах на строительстве практически всех видов.

Общим для всех типов скреперов является то, что они состоят из двух основных частей – скреперного оборудования и базовой машины. Скреперное оборудование предназначено для набора, перевозки, выгрузки грунта. Оно включает в себя ковш и механизмы управления.

В качестве базовых машин используют гусеничные и колесные тракторы, одноосные колесные тягачи.

Скреперы подразделяют по типу агрегатирования (соединения) скреперного оборудования и базовой машины на прицепные и самоходные.

К прицепным скреперам (рис. 4.4) относят машины, буксируемые гусеничными или колесными тракторами *1*. У этих машин вся нагрузка, включая массу грунта в ковше *7*, передается только на колеса скрепера.

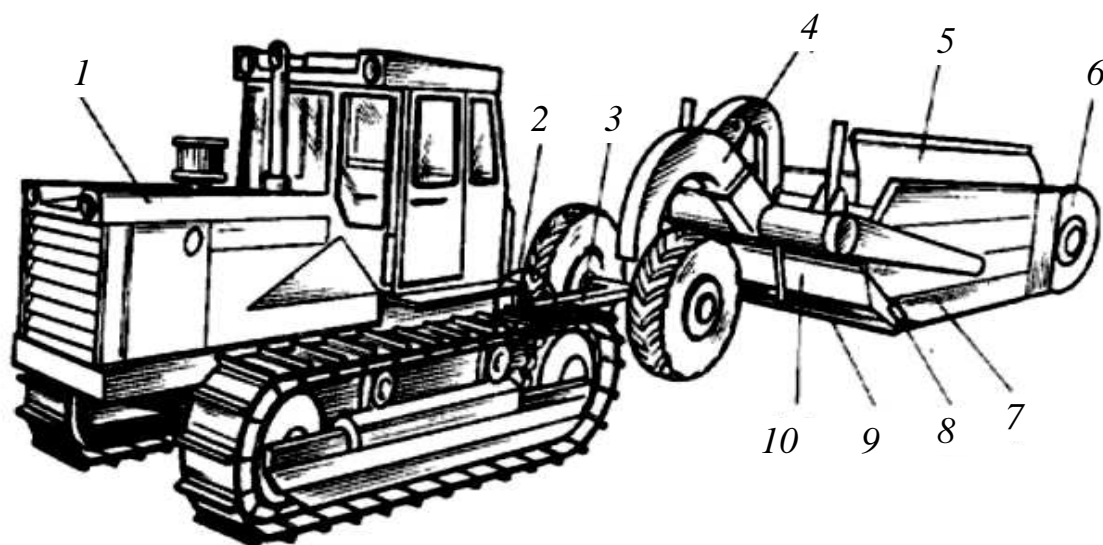


Рис. 4.4. Прицепной скрепер:

1 – трактор; *2* – сцепное устройство; *3* – ось; *4* – рама; *5* – задняя стенка;
6 – заднее колесо; *7* – ковш; *8, 9* – ножи; *10* – заслонка

Прицепные скреперы с гусеничными тракторами обладают хорошей проходимостью и способны работать во время распутицы. Благодаря высокой силе тяги эти машины могут самостоятельно заполнять ковш практически на любых видах грунтов. Однако низкие транспортные скорости тракторов (2,5–3 м/с) ограничивают область применения скреперов по дальности транспортирования грунта до 400–500 м.

Самоходные скреперы выпускают трехосными и двухосными. У трехосных скреперов (рис. 4.5) часть нагрузки от их массы через седельно-сцепное устройство *2* передается на колесный трактор *1*. Двухосный скрепер (рис. 4.6) представляет собой единую машину с собственной силовой установкой для передвижения и управления

скреперным оборудованием. Базовая машина таких скреперов – одноосный тягач – является передней осью скрепера.

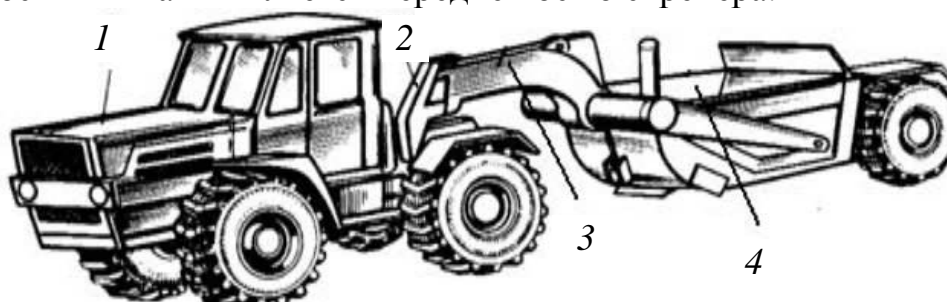


Рис. 4.5. Самоходный трехосный скрепер:
1 – трактор; 2 – седельно-сцепное устройство; 3 – рама;
4 – ковш с заслонкой и задней стенкой

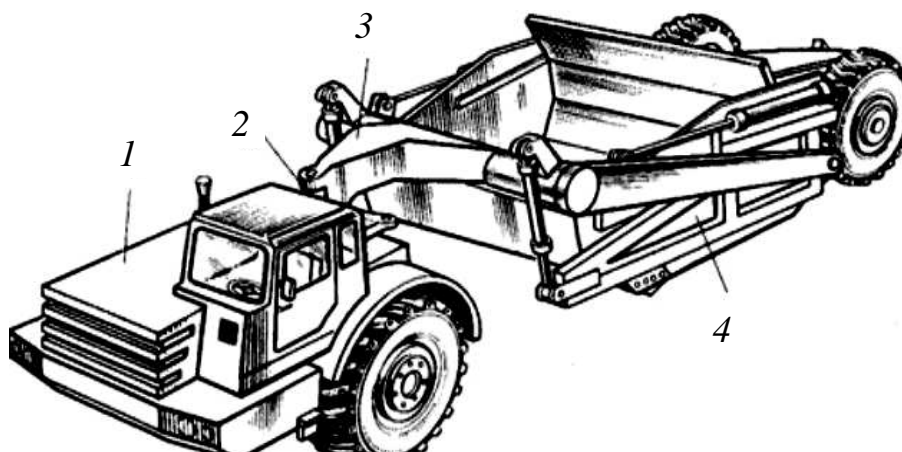


Рис. 4.6. Самоходный двухосный скрепер:
1 – тягач; 2 – седельно-сцепное устройство; 3 – тяговая рама;
4 – ковш с заслонкой и задней стенкой

Самоходные скреперы отличаются меньшей проходимостью, чем прицепные, и требуют для работы более благоприятных дорожных условий. Сила тяги базовых одноосных тягачей и колесных тракторов недостаточна для самостоятельного заполнения ковша, поэтому грунт набирают с помощью трактора-толкача. Высокие транспортные скорости самоходных скреперов позволяют перевозить грунт на значительное расстояние. Так как транспортный режим составляет 80–90% времени рабочего цикла, то производительность самоходных скреперов увеличивается в 2–2,5 раза.

Тяговый расчет скрепера. Тяговый расчет скрепера следует производить для транспортного и рабочего режимов.

Тяговый расчет скрепера для рабочего режима может быть выполнен при решении одной из двух задач [5]:

1) по заданной емкости ковша определяют требуемую силу тяги и по ней подбирают тягач;

2) по заданному типу тягача определяют емкость ковша скрепера.

В том и другом случае рассматривается заключительная стадия наполнения ковша скрепера.

Общий порядок тягового расчета по первому варианту состоит в следующем. Исходя из заданной емкости ковша определяют расчетную высоту наполнения ковша.

После этого определяют минимальную толщину стружки h , обеспечивающую возможность наполнения ковша скрепера при работе на заданных грунтах.

Затем определяют требуемую силу тяги в конечный момент наполнения ковша при резании стружки толщиной h и шириной, равной ширине резания [5].

По полученному значению силы тяги производят выбор тягача.

При расчете по второму варианту, когда тип тягача известен, т. е. задана сила тяги и требуется подобрать скрепер с ковшом соответствующей емкости, вначале ориентировочно определяют (с учетом коэффициента наполнения) емкость ковша скрепера, соответствующую возможностям данного тягача. Для прицепного скрепера это можно сделать, пользуясь графическими зависимостями [5, с. 262], для самоходного скрепера емкость ковша скрепера «с шапкой» определяется из тягового расчета для транспортного режима.

По найденной емкости ковша определяют, как это было указано выше, основные параметры ковша и скрепера, производят поверочный тяговый расчет в том же порядке, как и для первого варианта, а затем вводят соответствующие коррективы.

Широкое распространение получил метод тягового расчета скрепера, предложенный Е. Р. Петерсом [7], по которому общее сопротивление, возникающее в конце наполнения, равняется сумме четырех сопротивлений:

$$W = W_T + W_p + W_n + W_{пр}, \quad (4.19)$$

где W_T – сопротивление перемещению груженого скрепера;

W_p – сопротивление грунта резанию;

W_n – сопротивление наполнению;

$W_{пр}$ – сопротивление перемещению призмы волочения.

Сопротивление перемещению груженого скрепера W_T , кН, определяется по формуле

$$W_T = (G_c + G_r)(f \pm i), \quad (4.20)$$

где G_c – сила тяжести скрепера, кН;

G_r – сила тяжести грунта в ковше, кН;

f – коэффициент сопротивления качению;

i – уклон поверхности движения.

Сила тяжести грунта в ковше скрепера, кН:

$$G_r = \frac{q_1 \gamma_0 k_n}{k_p}, \quad (4.21)$$

где q_1 – геометрическая емкость ковша, м³;

γ_0 – удельный вес грунта в естественном залегании, кН/м³;

k_n – коэффициент наполнения ковша грунтом (табл. 4.3);

k_p – коэффициент разрыхления грунта в ковше скрепера (табл. 4.4).

Таблица 4.3

Значение коэффициента наполнения ковша скрепера k_n

Способ тяги	Сухой рыхлый песок	Супесь и средний суглинок	Тяжелый суглинок и глина
Без толкача	0,5–0,7	0,8–0,9	0,6–0,8
С толкачем	0,8–1,0	1,0–1,2	0,9–1,2

Таблица 4.4

Значение коэффициента разрыхления грунта в ковше скрепера k_p

Наименование грунта	Влажность, %	Удельный вес грунта в естественном залегании, кН/м ³	k_p
Сухой песок	–	15–16	1,0–1,2
Влажный песок	12–15	16–17	1,1–1,2
Легкая супесь	7–10	15–17	1,1–1,2
Супеси и суглинки	4–6	16–18	1,2–1,4

Средний суглинок	15–18	16–18	1,2–1,3
Сухой пылеватый суглинок	8–12	16–18	1,3–1,4
Тяжелый суглинок	17–19	16,5–18	1,2–1,3
Сухая глина	–	17–18	1,2–1,3

Сопротивление грунта резанию W_p :

$$W_p = kbh, \quad (4.22)$$

где k – удельное сопротивление резанию имеет следующие значения, кН/м²:

пески и слабые песчаные грунты	50–70
супеси и суглинки	80–100
тяжелые суглинки, глины	до 120

Принимать значения k свыше 100–120 кН/м² не рекомендуется, так как более плотные грунты необходимо предварительно разрыхлять.

При назначении величины h можно руководствоваться следующими данными:

$q, \text{ м}^3$	6	10	15
$h, \text{ см для суглинка}$	4–6	8–10	12–14
$h, \text{ см для супеси}$	6–8	10–12	14–16

Полное сопротивление наполнению W_n складывается из сопротивления силы тяжести грунта, поступающего в ковш W'_n , и сопротивления трению грунта в ковше W''_n .

Сопротивление силы тяжести поднимаемого столба грунта:

$$W'_n = bhH\gamma_0, \quad (4.23)$$

где b – ширина резания, м;

h – толщина стружки, м;

H – высота наполнения ковша, м;

γ_0 – удельный вес грунта, кН/м³.

Ориентировочное значение H следующее:

Емкость скрепера, м ³	2,25	6	10	15
Высота наполнения ковша $H, \text{ м}$	1,00–1,13	1,25–1,5	1,8–2,0	2,3

Сопротивление трению W''_n грунта по грунту в ковше возникает в результате давления боковых призм, располагающихся по обе стороны столба грунта, при его перемещении в вертикальном направлении внутри ковша:

$$W''_n = 2P\mu_2 = xbH^2\gamma_0, \quad (4.24)$$

где

$$x = \frac{\operatorname{tg}\varphi_2}{1 + \operatorname{tg}^2\varphi_2}, \quad (4.25)$$

φ_2 – угол внутреннего трения грунта.

Значения x и угла внутреннего трения для различных грунтов приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Значения x и угла внутреннего трения для различных грунтов

Показатели	Грунт		
	глина	суглинок	песок
Значение x	0,24–0,31	0,37–0,44	0,46–0,50
Угол внутреннего трения φ_2 , град	14–19	24–30	35–45

Сопротивление перемещению призмы волочения, кН:

$$W_{\text{пр}} = ybH^2\gamma_0\mu_2, \quad (4.26)$$

где $y = 0,5–0,7$ коэффициент объема призмы волочения перед заслонкой и ножами ковша, наибольшее значение относится к сыпучим грунтам;

b – ширина резания, м;

H – высота наполнения, м;

γ_0 – удельный вес грунта, кН/м³;

$\mu_2 = 0,3–0,5$ коэффициент трения грунта по грунту (суглинки, пески).

При расчетах по методу Е. Р. Петерса [7] сопротивление наполнению получается заниженным против фактического, а объемы призмы волочения завышены, что в известной мере компенсирует занижение сопротивления наполнению.

К. А. Артемьев [6] отмечает, что между толщиной стружки и сопротивлением наполнению для супеси и легкого суглинка имеется прямо пропорциональная зависимость, выражаемая

$$W_{\text{н}} = k_{\text{н}}h, \quad (4.27)$$

а для тяжелого суглинка

$$W_{\text{н}} = a + k_{\text{н}}h, \quad (4.28)$$

где W_H – сопротивление наполнению при данной высоте грунта в ковше, Ньютон на 1 пог. м ширины ковша;

a – начальное значение функции, кН;

k_H – коэффициент, Н/м;

h – толщина стружки, м.

Связные грунты оказывают значительно большее сопротивление наполнению, чем грунты малосвязные.

Для самоходного скрепера при работе без толкача необходимо, чтобы максимальная окружная сила P_k на шинах ведущих колес была равна или несколько превышала суммарное сопротивление, т. е.

$$P_k = W. \quad (4.29)$$

Для прицепных скреперов должно быть соблюдено условие

$$T \geq W, \quad (4.30)$$

где T – максимальная сила тяги на крюке тягача.

При применении толкачей при загрузке должны быть соблюдены условия:

$$(P_k + T_m)k_0 \geq W, \quad (4.31)$$

$$(T + T_m)k_0 \geq W, \quad (4.32)$$

где T_m – толкающее усилие толкача;

k_0 – коэффициент одновременности работы толкача и тягача;
 $k_0 = 0,85-0,90$.

При работе по гребенчатой схеме зарезания следует учитывать коэффициент динамичности

$$k_d T > W, \quad (4.33)$$

где k_d – коэффициент динамичности; $k_d = 0,85-0,90$.

Коэффициент динамичности у скреперов с канатным управлением выше, чем у скреперов с гидравлическим управлением. При транспортировании должно быть:

$$T \geq W_f, \quad (4.34)$$

где W_f – сопротивление перемещению скрепера с грунтом (как повозки).

При работе скреперов величина максимального преодолеваемого сопротивления обычно ограничивается силой сцепления ведущих колес самоходного скрепера, гусениц или

ведущих колес тягача, поэтому необходимо произвести проверку по сцеплению по уравнениям:

$$Q_{\text{сц}} \varphi_{\text{сц}} \geq T = W, \quad (4.35)$$

$$Q_{\text{сц}} \varphi_{\text{сц}} \geq P_k = W, \quad (4.36)$$

где $Q_{\text{сц}}$ – сцепная масса, т. е. масса, приходящаяся на ведущие колеса или гусеничный ход машины;

$\varphi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления.

Необходимая мощность двигателя тягача для прицепного скрепера при работе без толкача, кВт, определяется:

$$N = \frac{[9,8G_m(f_0 \pm i) + W]v}{3600\eta}, \quad (4.37)$$

где G_m – масс тягача, кН;

v – скорость, км/ч;

η – к.п.д. тягача и прицепного скипера.

Для самоходного скрепера со всеми ведущими колесами при работе без толкача необходимая мощность двигателя, кВт, будет равна

$$N = \frac{Wv}{3600\eta}. \quad (4.38)$$

К. А. Артемьев [6] на основании ряда экспериментальных и теоретических исследований процесса работы скрепера разработал аналитический метод расчета сил сопротивления, возникающих при наполнении ковша скрепера.

Производительность скрепера. Способ резания при работе скрепера оказывает существенное влияние на степень наполнения ковша, характеризуемую коэффициентом наполнения k_n .

Способ резания: прямое – 0,8;

ступенчатое – 0,9;

гребенчатое – 1;

шахматно-гребенчатое – 1,1.

При гребенчатом способе резания по сравнению с прямым коэффициент наполнения ковша увеличивается в 1,2–1,4 раза. Соответственно время резания сокращается примерно в 1,5 раза.

Предварительное рыхление грунтов III и IV категории способствует увеличению наполнения скреперных ковшей на 4–8%

против средних значений при работе скреперов без предварительного рыхления.

Производительность скреперов в плотном теле, м³/ч:

$$\Pi = \frac{3600qk_nk_b}{k_pT_{\text{ц}}}, \quad (4.39)$$

где q – геометрическая емкость ковша скрепера, м³;

k_n – коэффициент наполнения скрепера; $k_n = q_1/q$;

q – объем рыхлого грунта в ковше скрепера, м³;

k_b – коэффициент использования рабочего времени; $k_b = 0,85-0,90$;

k_p – коэффициент разрыхления грунта;

$T_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла, с:

$$T_{\text{ц}} = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} + \frac{l_3}{v_3} + \frac{l_4}{v_4} + t_{\text{п}} + 2t_{\text{пов}}, \quad (4.40)$$

где l_1 – длина пути заполнения, м;

l_2 – длина пути транспортирования грунта, м;

l_3 – длина пути разгрузки, м;

l_4 – длина пути порожнего скрепера, м;

v_1 – скорость движения скрепера при заполнении, м/с;

v_2 – скорость движения груженого скрепера, м/с;

v_3 – скорость движения скрепера при разгрузке, м/с;

v_4 – скорость движения порожнего скрепера, м/с;

$t_{\text{п}}$ – время на переключение передачи; $t_{\text{п}} = 6$ с;

$t_{\text{пов}}$ – время на один поворот; $t_{\text{пов}} = 15-20$ с.

При заполнении ковша скорость движения обычно составляет $(0,65-0,8)v_1$, где v_1 – скорость движения на первой передаче трактора (тягача).

Скорость движения груженого скрепера на ровном участке следует принимать равной $(0,55-0,75)v_{\text{max}}$, где v_{max} – скорость движения на высшей передаче.

При движении на крутом подъеме надо принимать движение на первой передаче.

Скорость движения порожнего скрепера составляет $(0,75-0,85)v_{\text{max}}$ на ровных участках, а на подъемах равна скорости движения на второй передаче трактора (тягача).

Скорость движения при разгрузке принимается в зависимости от условий разгрузки в пределах от скорости движения на первой передаче до $0,75v_{\text{max}}$.

Длина пути наполнения скрепера, м:

$$l_1 = \frac{q_1 k_n k_p}{0,7 b n k_p} + 0,5, \quad (4.41)$$

где 0,7 – коэффициент, учитывающий неравномерность толщины стружки;

k_n – коэффициент, учитывающий потери грунта при образовании призмы волочения и боковых валиков; $k_n = 1,2-1,5$.

Полная длина пути, проходимого скрепером при наборе грунта:

$$L_H = l_1 + L_c, \quad (4.42)$$

где L_c – длина агрегата (длина трактора со скрепером).

Длина пути разгрузки $l_3 = 3-10$ м.

Таблица 4.6

Исходные данные для тягового расчета скреперов

Наименование показателя	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка скрепера	ДЗ-20	ДЗ-33	ДЗ-87	ДЗ-11П	ДЗ-13	ДЗ-74	ДЗ-33	ДЗ-57	ДЗ-11П	ДЗ-13А
Разрабатываемый грунт	Песок сухой	Песок влажный	Супеси	Суглинок	Глины	Песок влажный	Супеси	Суглинок	Глины	Песок влажный
Толщина срезаемой стружки, м	15	18	20	25	20	30	20	15	25	30
Дальность перемещения грунта, м	200	250	300	2000	3000	4000	300	200	3500	4500

4.3. Грейдеры и автогрейдеры

Общие сведения. Автогрейдер является одной из основных машин, применяемых при строительстве дорог и их содержании. С помощью автогрейдеров можно профилировать земляное полотно,

возводить насыпи высотой до 0,6 м, планировать откосы, выемки и насыпи, перемещать грунт и дорожно-строительные материалы, устраивать корыта и боковые канавы в дорожном полотне, перемешивать грунт и гравийные материалы с вяжущими материалами и добавками, очищать дороги от снега.

Для автогрейдера характерно разнообразие производимых работ благодаря тому, что отвал может устанавливаться под различным углом в вертикальной и горизонтальной плоскостях и выносятся в сторону, достаточная точность выполнения планировочных профилировочных работ, возможность установки различного сменного навесного оборудования (до 20 видов), высокая мобильность (транспортная скорость машины достигает 45 км/ч).

Автогрейдеры являются самоходными машинами, которые относятся к числу наиболее распространенных дорожных машин. Их придумали, чтобы заменить выпускавшиеся ранее прицепные грейдеры. Грейдеры, так как являются прицепными, значительно дешевле автогрейдеров. Для их перемещения, как правило, используются гусеничные трактора. Они широко применяются для профилирования и содержания сельскохозяйственных дорог.

Основным видом работ, для которых предназначен автогрейдер, является профилирование земляного полотна. При этом земляное полотно возводится из грунта, вынутого из боковых кюветов. Такое профилирование осуществляется последовательными проходами автогрейдера по каждой стороне дороги. Рабочий процесс машины состоит из вырезания грунта из кювета и перемещение его к оси дороги. Эти рабочие операции ведутся при различной установке ножа во время следующих друг за другом проходов машины.

При зарезании угол установки ножа в плане (угол захвата φ) зависит от трудности разработки грунта. Обычно $\varphi = 30-60^\circ$. Отвал наклоняется в вертикальной плоскости таким образом, чтобы тот край ножа, которым производится зарезание грунта, был ниже. Это обеспечивает подъем вырезанного грунта из кювета. При перемещении грунта угол увеличивается, что способствует передвижению грунта к оси дороги на большее расстояние. Для повышения этого расстояния отвалы снабжаются сменными удлинительными. Для планировки внешних откосов кюветов машины оснащаются специальными откосниками, прикручиваемыми к отвалу. Иногда автогрейдеры снабжаются сменным навесным оборудованием, после установки которого машина может работать как грейдер-

элеватор и снегоочиститель, бульдозер, многоножевой смеситель (бульдозер и снегоочиститель). Они могут быть установлены дополнительно, т.е. без снятия отвала. Остальные элементы монтируются взамен отвала.

Грейдеры предназначены для выполнения профилировочных работ и отделки земляного дорожного полотна. Кроме того, их применяют для возведения невысоких насыпей из боковых резервов, устройства террас на косогорах, корыта в дорожном полотне, срезки и планировки откосов, выемок и насыпей, общей планировки участка, перемешивания гравия и щебня с вяжущими материалами при строительстве горной дороги. В зимнее время грейдеры используются для расчистки дорог, для сгребания снега в отвалы перед погрузкой его в транспорт для снегозадержания на полях.

Так как грейдеры оснащают различным сменным дополнительным оборудованием (плужные снегоочистители, бульдозерный отвал, рыхлитель и т.д.), область их применения расширяется.

Грейдеры бывают прицепными (работающие в сцепе с гусеничными тракторами) и самоходными. Их можно классифицировать по массе, особенностям колесной схемы, конструкции задней тележки, типу трансмиссии.

Общее устройство автогрейдера показано на рис. 4.7. Двигатель, тяговая рама, поворотный круг с отвалом и кирковщиком, дополнительное рабочее оборудование, механизмы управления рабочими органами и рулевого управления, а также кабина расположены на основной раме.

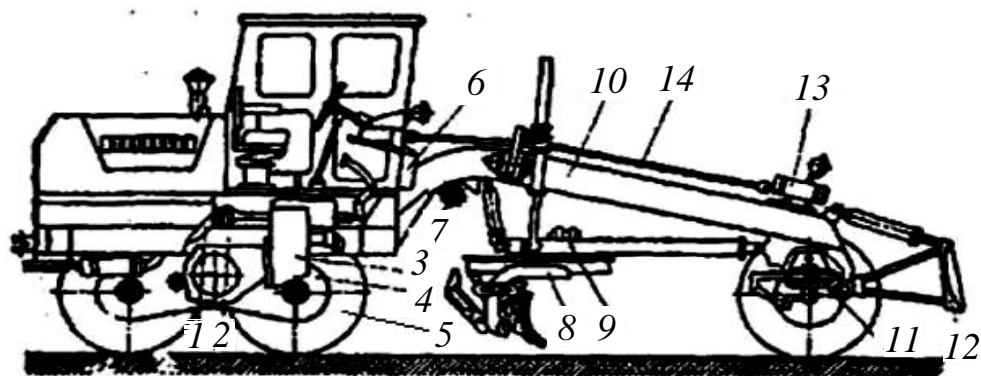


Рис. 4.7. Общий вид автогрейдера:

1 – двигатель; 2 – соединительный вал; 3 – коробка передач 4 – балансир;
5 – колесо; 6 – распределительное устройство; 7 – гидрораспределитель;

8 – рабочие органы; 9 – гидромотор привода поворотного круга; 10 – основная рама; 11 – передний мост; 12 – бульдозерное оборудование; 13 – рулевой механизм; 14 – карданный вал

Основная рама опирается в одной точке на передний мост и в двух точках – на задний. Силовая передача от двигателя на ходовую часть автогрейдера осуществляется через соединительную муфту, коробку передач, задний мост и редуктор балансиров. Ходовая часть автогрейдера состоит из четырех приводных задних пневмоколес и двух приводных или неприводных управляемых передних колес. Задние колеса с каждой стороны машины попарно объединены балансирными балками. Такое соединение позволяет колесам не отрываться от опорной поверхности при наезде одного из колес на препятствия, т. е. машина опирается постоянно на все шесть колес независимо от рельефа местности. Для изменения направления движения передние колеса могут поворачиваться в плане с помощью рулевой трапеции. Для повышения устойчивости движения при работе с косоустановленным отвалом эти колеса могут отклоняться в боковом направлении.

Рабочий орган – отвал – через кронштейны и поворотный круг закрепляют на тяговой раме. Раму располагают под хребтовой балкой и соединяют с ней в передней части универсальным шарниром, а в задней – с помощью гидравлических цилиндров, подвешенных к хребтовой балке. Два гидравлических цилиндра, работающих независимо один от другого, обеспечивают подъем передней части тяговой рамы и ее перекося, а гидроцилиндр выноса – ее вынос в сторону от продольной оси автогрейдера. Вращением поворотного круга автогрейдера с жестко закрепленными кронштейнами обеспечивается установка отвала в плане. Благодаря такой подвеске отвал может быть установлен горизонтально или наклонно к вертикальной плоскости, под любым углом наклона в плане, располагаться в полосе колеи машины или быть вынесенным за ее пределы, быть опущенным ниже уровня поверхности, по которой перемещается машина, или поднятым над ней.

Тяговый расчет автогрейдера. Тяговый расчет автогрейдера на рабочем режиме можно вести двумя методами: а) по заданным параметрам ножа и характеристике технологического процесса, выполняемого машиной, определяется необходимое тяговое усилие, а затем параметры двигателя и масса машины; б) по заданным

параметрам двигателя и массе машины определяется свободная сила тяги, т. е. выявляются возможные технологические режимы работы автогрейдера с отвалами и другими видами сменного рабочего оборудования.

При проведении тягового расчета автогрейдера на рабочем режиме принимаются следующие условия и допущения:

- 1) осуществляется резание и перемещение грунта;
- 2) резание происходит при оптимальных углах установки ножа при работе на горизонтальном участке;
- 3) величина свободной силы тяги на ведущих колесах принимается с учетом перераспределения массы по осям и при оптимальном значении коэффициента сцепления;
- 4) грунты однородные, например, III категории;
- 5) режимы резания постоянные;
- 6) состояние режущей кромки ножа соответствует техническим требованиям;
- 7) налипание грунта на рабочую поверхность отвала отсутствует.

Возможность преодоления возникающих сопротивлений определяется максимальным значением окружной силы на ведущих колесах $P_{k\max}$, величина которой ограничивается условием сцепления шин с грунтом:

$$P_{k\max} = \varphi G_{\text{сц}} \geq \Sigma W, \quad (4.43)$$

где φ – коэффициент сцепления;

$G_{\text{сц}}$ – сцепная сила тяжести автогрейдера при действии на нож вертикальной, направленной вверх силы P_k , кН;

ΣW – сумма всех сопротивлений при работе автогрейдера.

При рабочем режиме автогрейдера сумма всех сопротивлений движению составит:

$$\Sigma W = W_f + W_h + W_j + W_k. \quad (4.44)$$

Сопротивление качению колес W_f , сопротивление движению на уклон W_h и сопротивление сил инерции W_j могут быть получены по рекомендациям из дополнительной литературы [3].

Сопротивление копанию отвалом W_k рассматривается как состоящее из отдельных слагаемых, характеризующих сопротивление отдельных относительных движений грунта:

$$W_k = W_p + W_{пр} + W_B + W_n, \quad (4.45)$$

где W_p – сопротивление грунта резанию;

$W_{пр}$ – сопротивление перемещению призмы волочения;

W_B – сопротивление грунта продвижению вверх по отвалу;

W_n – сопротивление грунта продвижению вдоль отвала.

Сопротивление грунта копанию при работе автогрейдера следует рассматривать для двух характерных случаев выполнения работы:

а) зарезание при установке отвала на угол $\gamma \neq 0$ в вертикальной плоскости;

б) планировочные работы при $\gamma = 0$.

Для случая зарезания принимаем сопротивление резанию, кН, равным

$$W_p = k \frac{hl}{2}. \quad (4.46)$$

Для планировочных работ с элементами резания сопротивление резанию будет:

$$W_p = kLh. \quad (4.47)$$

Сопротивление призмы волочению, как и при отвале бульдозера, равно:

$$W_{пр} = G_{пр} \mu_2 \sin \varphi, \quad (4.48)$$

где $G_{пр}$ – сила тяжести призмы волочения, определяемая при условии полного заполнения отвала грунтом, кН;

μ_2 – коэффициент трения грунта по грунту;

φ – угол захвата, т. е. угол установки отвала в горизонтальной плоскости.

Сопротивление грунта продвижению вверх по отвалу, кН:

$$W_B = G_{пр} \mu_1 \cos^2 \delta \sin \varphi. \quad (4.49)$$

Сопротивление грунта при движении вдоль отвала, кН:

$$W_n = G_{пр} \mu_1 \mu_2 \cos \varphi, \quad (4.50)$$

где μ_1 и μ_2 – коэффициенты трения грунта по отвалу и грунта по грунту;

δ – угол резания.

Необходимая сила тяги на ведущих колесах автогрейдера по условиям сцепления при рабочем режиме определяется зависимостью

$$P_k \geq \Sigma W, \quad (4.51)$$

В предположении, что окружная сила на колесах по условиям сцепления подсчитана с учетом перераспределения нагрузки на колеса в связи с упором ножа в грунт, т. е.:

$$P'_k = \phi G_{\text{сц}}, \quad (4.52)$$

где $G_{\text{сц}}$ – сцепная сила тяжести автогрейдера, кН.

Обеспечение указанного значения силы P_k должно проверяться по зависимостям:

$$P'_k \leq P_k = \frac{M_{\text{Д}} i_k i_n}{r} \eta = 9550 \frac{N i_k i_n}{nr} \eta, \quad (4.53)$$

в соответствии с заданной скоростью передвижения, км/ч:

$$v \approx 0,377 \frac{nr}{i_k i_n}. \quad (4.54)$$

В приведенных формулах:

P_k – окружная сила на ведущих колесах;

i_k, i_n – передаточные числа в коробке передач и механизме трансмиссии;

r – радиус качения пневматических шин ведущих колес;

η – механический к.п.д. силовой передачи;

n – число оборотов вала двигателя в минуту;

N – мощность двигателя, кВт.

Скорости движения автогрейдера. Для обеспечения различных силовых и скоростных режимов движения современные автогрейдеры снабжаются многоступенчатыми коробками передач.

Скорости движения автогрейдеров, км/ч:

на первой передаче	3–4,2
на высших передачах	6–15
транспортные скорости	25–42
скорость на заднем ходу	6–13

В связи с использованием сменного навесного оборудования (смесители, роторные снегоочистители) на автогрейдерах стали применять рабочие скорости порядка 0,4–1,0 км/ч.

Применение турботрансформатора допускает бесступенчатое изменение скорости в пределах каждой передачи и позволяет уменьшить число передач.

Скорость на первой передаче может быть выбрана из выражения:

$$v = \frac{1000N_d \eta \xi}{P_k}, \quad (4.55)$$

где P_k – сила тяги по сцеплению, Н;

ξ – коэффициент запаса, $\xi < 1$.

Значение максимальной расчетной транспортной скорости автогрейдера v_{\max} следует определять исходя из условий реализации максимальной мощности двигателя при движении автогрейдера на установившемся режиме по горизонтальной поверхности при заданном значении коэффициента сопротивления качению $f = 0,025–0,035$.

Для автогрейдеров со всеми ведущими колесами, у которых удельная мощность двигателя выше, значение v_{\max} может оказаться завышенным. В этом случае максимальную транспортную скорость нужно ограничивать величиной 40–45 км/ч, так как движение с большей скоростью может вызвать большие динамические нагрузки на машину вследствие толчков и ударов, поскольку эластичной подвески у автогрейдеров нет.

Производительность автогрейдера. Производительность автогрейдера зависит от его основных параметров: длины ножа, мощности двигателя, тягового усилия на колесах, а также от условий его работы: характера грунта, выбранной технологии работ (попеременные ходы, челночная или круговая работа и т. п.).

Производительность автогрейдера может быть выражена в объемах вырезанного и перемещенного грунта за единицу времени или в площадях, выравненных в единицу времени (смену, час). Иногда производительность автогрейдера указывают в километрах длины типовой автомобильной дороги за смену.

В общем виде производительность автогрейдера, м³/смену, при резании и перемещении грунта (профилировании дороги, нарезке канав и т. п.) может быть выражена зависимостью

$$\Pi = \frac{Tk_B V}{tk_p}, \quad (4.56)$$

где T – продолжительность смены, ч;

k_B – коэффициент использования времени в смену (зависит от технического состояния машины, от квалификации оператора), обычно принимается $k_B = 0,8–0,95$;

V – геометрический объем, м³, призмы грунта, перемещаемой отвалом за один рабочий ход;

t – время рабочего цикла, ч, зависящее от условий резания и перемещения грунта, технического состояния машины;

k_p – коэффициент разрыхления грунта в призме, перемещаемой отвалом.

Время рабочего цикла t , ч, в общем случае может быть выражено:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6, \quad (4.57)$$

где t_1 – время перемещения грунта отвалом;

t_2 – время обратного хода автогрейдера;

t_3, t_4 – время на подъем и спуск отвала;

t_5, t_6 – время на переключение передач и повороты в конце рабочего хода и в конце обратного хода.

При челночной работе автогрейдера, т. е. при работе без разворотов, на концах гонов время рабочего цикла выражается:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (4.58)$$

где t_1 – время переднего рабочего хода;

t_2 – время обратного (заднего) хода;

t_3 и t_4 – время на реверсирование отвала и переключение передач в конце переднего и в конце заднего хода соответственно.

Для обеспечения высокой производительности необходимо стремиться к сокращению времени рабочего цикла t и к увеличению объема V перемещаемого грунта.

При разработке коротких участков (менее 0,5 км) нормы производительности снижают на соответствующий коэффициент:

Длина участка, м	400	200	100
Коэффициент	0,95	0,90	0,80

Производительность автогрейдера Д-144 на постройке грунтовых дорог шириной 6 м может быть принята равной 1,3–1,8 км в смену в зависимости от категории грунта.

Производительность автогрейдера при работе кирковщиком определяют по объему вскиркованного слоя за единицу времени (смену) с учетом рабочего времени цикла по тем же зависимостям.

Объем вскиркованного слоя, м³, определяется:

$$V_1 = b_k h_k l_k, \quad (4.59)$$

где b_k , h_k и l_k – соответственно ширина, глубина и длина киркуемой полосы.

При определении производительности необходимо обоснованно взять величину V и V_1 , которые определяются тяговыми свойствами автогрейдера. Наглядное представление зависимости производительности автогрейдера от его тяговой характеристики и категории разрабатываемого грунта дают тяговые диаграммы автогрейдеров [3].

Таблица 4.7

Исходные данные для тягового расчета автогрейдеров

Название	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Марка автогрейдера	ДЗ-31-1	ДЗ-39-1-4	ДЗ-6	ДЗ-31-1	ДЗ-98А	ДЗ-58	ДЗ-31-1-2	ДЗ-127А	ДЗ-1	ДЗ-31-2
Длина планируемого участка, м	300	400	500	600	700	800	700	600	500	400
Ширина земляного полотна, м	6	8	10	6	8	10	6	8	10	6
Высота насыпи, м	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55
Средняя длина перемещения, м	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	2,8	2,6

5. МЕТОДИКА ТЯГОВОГО РАСЧЕТА МАШИН ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ОСНОВАНИЙ

Общие сведения. Уплотнение дорожных оснований и покрытий может осуществляться укаткой и вибрационными методами. Применяемые для этого средства механизации могут разделяться на катки и вибрационные машины. При строительстве дорог наибольшее распространение нашли катки.

Они являются только самоходными дорожными машинами. На некоторых гладких катках один из вальцов при помощи специального механизма вводится в состояние колебательных движений. Такие катки называются вибрационными, в отличие от обычных, называемых катками статического действия.

Вибрационные катки применяются главным образом для уплотнения покрытий, устраиваемых из цементобетонных смесей.

Катки на пневматических шинах для уплотнения асфальтобетонных и черных смесей применяются недавно. В отличие от катков с гладкими вальцами эти катки не дробят щебень и поэтому уплотняют смеси, состоящие из слабых каменных материалов. Кроме того, при движении пневмокатков уплотняемый материал получает более равномерное обжатие, что уменьшает его склонность к волнообразованию.

Катки на пневматических шинах с успехом применяются при уплотнении щебеночных и гравийных дорожных оснований.

Для получения ровного и плотного дорожного покрытия удельное давление на грунт не должно превышать допустимых пределов. Эти пределы для катков с гладкими жесткими вальцами даны в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Допускаемые значения удельных давлений в МПа

Вид уплотняемого материала	В начале уплотнения	В конце уплотнения
Щебеночное основание	0,6–0,7	3,0–4,5
Гравийное основание	0,4–0,6	2,5–3,0
Асфальтобетон горячий	0,4–0,5	3,0–3,5
Грунт, укрепленный цементом	0,3–0,5	4,0–4,5
Грунт, укрепленный битумом	0,3–0,4	1,0–1,5

При уплотнении дорожных оснований и покрытий катками на пневматических шинах давление в них вначале укатки устанавливается равным 0,2–0,3 МПа, а в конце – 0,55–0,6 МПа. По мере уплотнения толщину уплотняемого слоя следует выбирать в зависимости от удельного линейного давления, оно ориентировочно приводится в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Оптимальная толщина укатываемого слоя

Удельное линейное давление, Н/см	Щебень и гравий, см	Гравий, см	Битумощебеночные и битумогравийные смеси, см	Асфальт, см
200–400	8–12	8–12	6–7	4–5
410–600	12–15	12–15	8–10	5–6
610–800	15–20	15–20	10–21	6–8

По величине удельного линейного давления катки разделяются на:
 легкие – с удельным давлением менее 400 Н/см, массой 5 т и двигателем мощностью до 20 кВт;

средние – с удельным линейным давлением 400–600 Н/см, массой 6–10 т и двигателем мощностью 20–30 кВт;

тяжелые – с удельным линейным давлением свыше 600 Н/см, массой более 10 т и двигателем мощностью свыше 30 кВт.

5.1. Машины статического действия

К машинам статического действия относят прицепные, полуприцепные и самоходные катки. Рабочими органами катков являются металлические вальцы (гладкие, кулачковые, решетчатые) или колеса с пневматическими шинами. Вследствие простых и экономичных средств уплотнения грунтов этими машинами они получили наибольшее распространение.

Катки с гладкими вальцами применяют давно, начиная с начала XX века, главным образом для уплотнения несвязных грунтов. Однако в настоящее время вследствие малой глубины уплотнения (до 20 см) эти катки применяют в основном в качестве рабочих органов вибрационных машин.

Рабочий процесс катков с гладкими вальцами состоит из многократного перекатывания вальцов по поверхности уплотняемого грунта, т. е. циклического воздействия на него. Деформации и связанное с ними уплотнение происходят в результате давления, создаваемого силой тяжести вальцов.

Схемы распределения контактных давлений на грунт под неподвижным и движущимся вальцами приведены в учебной литературе [3]. Для увеличения контактного давления внутреннюю полость вальца загружают балластом через специальный люк, расположенный в торцовой части.

Эффективным средством уплотнения связных грунтов являются кулачковые катки. В отличие от катков с гладкими вальцами на их поверхности имеются бандажи с укрепленными на них кулачками. Каждый бандаж состоит из 2–3 частей, соединяемых болтами. Кулачки размещают на поверхности катка в шахматном порядке.

В начале работы кулачки полностью погружаются в грунт, в связи с чем в контакт с его поверхностью может входить и валец катка. При погружении кулачков под каждым из них образуется уплотненное ядро, как бы упирающееся в плотное основание. Так как на поверхности вальца имеется много кулачков (20–25 шт. на 1 м), после прохода катка по поверхности грунта на нем остается соответствующее число «ядер», расположенных в шахматном порядке.

Кулачковые катки уплотняют только связные грунты. Для уплотнения как связных, так и несвязных грунтов используют катки на пневматических шинах, имеющие несколько колес, установленных в один ряд.

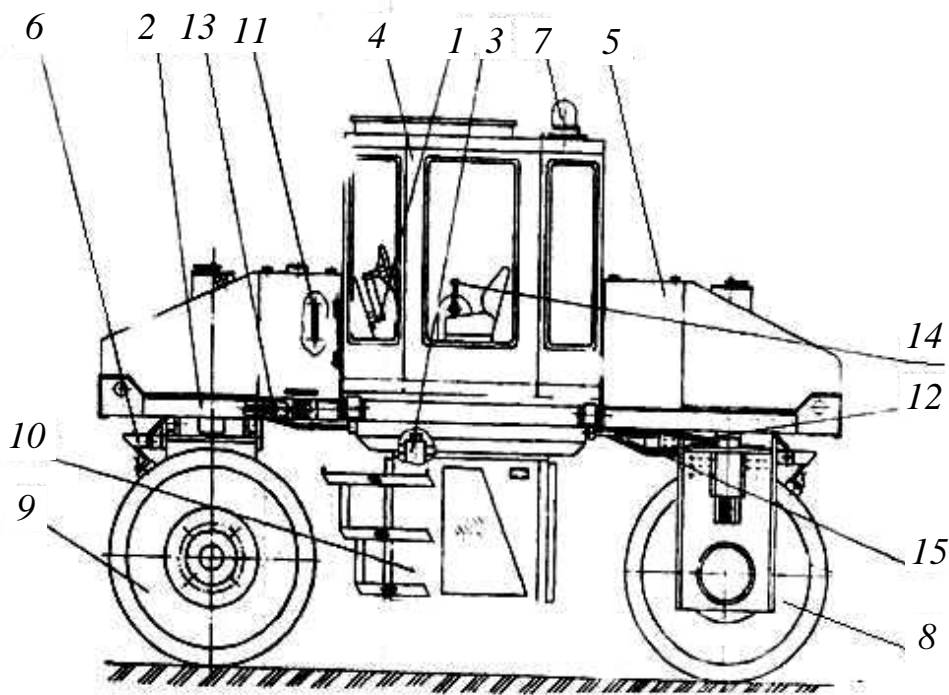


Рисунок. Каток пневмошинный двухвальный:

- 1 – управление двигателем; 2 – рама; 3 – агрегат силовой; 4 – установка кабины;
 5 – система топливная; 6 – система смачивания; 7 – электросистема;
 8 – валец задний; 9 – валец передний; 10 – облицовка; 11 – гидросистема насосной станции; 12 – гидросистема привода хода; 13 – гидросистема рулевого управления;
 14 – гидросистема управления; 15 – пневмосистема

У пневматических шин сравнительно небольшая ширина, поэтому при уплотнении грунт под ними отжимается в сторону. Воспрепятствовать отжатию может боковая пригрузка, которую создают соседние колеса, причем эффект тем больше, чем меньше зазор между ними. Поэтому колеса нужно ставить ближе друг к другу. Однако при слишком частом расположении колес увеличивается их число (если ширина полосы уплотнения постоянна). Это, в свою очередь, снижает нагрузку на каждое колесо или повышает общую массу катка, что нежелательно.

5.2. Вибрационные машины для уплотнения дорожных покрытий

Для уплотнения дорожных покрытий в последнее время широкое применение находят вибрационные машины. К ним относятся

виброкатки, поверхностные вибромашины, бетоноотделочные машины и глубинные вибраторы. Эти машины применяются при уплотнении цементобетонных и асфальтобетонных покрытий, щебеночных и гравийных оснований дорог, а также слоев грунта, укрепленного цементом.

Вибромашины могут быть самоходными, прицепными, навесными и переставляемыми. Прицепные и самоходные вибрационные катки применяются при уплотнении как асфальтобетонных покрытий, так и различного рода оснований дорог. Поверхностные вибромашины служат для уплотнения грунтов, щебеночных и гравийных оснований и покрытий дорог. Для уплотнения цементобетонных покрытий применяются специальные бетоноотделочные машины (финишеры). При толщине покрытий свыше 25 см для уплотнения бетонной смеси используются глубинные вибраторы.

Привод вибрационной машины осуществляется как от двигателей внутреннего сгорания, так и от электродвигателей. В настоящее время находит применение также комбинированный привод: дизель-электрический, дизель-гидравлический и электропневматический.

Для придания рабочему органу машины колебательных движений устанавливается специальный возбудитель колебаний – вибратор. Колебания от вибратора через рабочую плиту, валец или корпус передаются уплотняемой среде.

По принципу действия различают вибраторы центробежные, инерционные и ударного действия. В центробежных возмущающая сила создается за счет вращения неуравновешенных масс. Возмущающая сила инерционных вибраторов развивается в результате возвратно-поступательного движения масс. В вибраторах ударного типа возмущающая сила возникает при соударении подвижных масс.

Тяговый расчет катков. Мощность двигателя моторного катка должна обеспечивать его нормальную работу в наиболее тяжелых условиях, которыми можно считать укатку рыхлого щебня на предельном подъеме; киркование старого шоссе на подъеме; проход катка на транспортной скорости по хорошей дороге с предельным подъемом. Необходимая мощность двигателя катка определяется по формуле

$$N = \frac{Tv}{270\eta}, \quad (5.1)$$

где T – сила тяги на ободе ведущих вальцов катка;

v – низшая рабочая скорость катка, км/ч;

η – к.п.д. трансмиссии от двигателя к ведущим вальцам.

Сила тяги на ободе ведущих вальцов катка должна быть равна или больше суммы всех сопротивлений, возникающих при движении катка, т. е.

$$T \geq \sum W, \quad (5.2)$$

причем в $\sum W$ – должны входить все сопротивления при движении катка во время его работы в наиболее тяжелых условиях. Сопротивления, возникающие при движении катка, могут быть следующими:

W_1 – сопротивление при передвижении катка по дороге как повозки;

W_2 – сопротивление при преодолении подъема;

W_3 – сопротивление от преодоления сил инерции при разгоне;

W_4 – сопротивление при кировании старого покрытия;

W_5 – сопротивление при проходе катка по закруглениям.

Сопротивление при передвижении катка по дороге как повозки с преодолением подъема обычно определяется по формуле

$$W_1 + W_2 = Q(f + i), \quad (5.3)$$

где Q – вес катка;

f – коэффициент сопротивления движению, зависящий в значительной степени от рода укатываемого материала и его состояния, а также ряда других факторов (см. ниже);

i – уклон дороги в сотых долях. Коэффициент сопротивления движению уменьшается с увеличением числа проходов катка, подчиняясь следующей зависимости:

$$f_n = f_1 - \beta_0 \lg n, \quad (5.4)$$

где f_n – коэффициент сопротивления движению при n -м проходе катка;

f_1 – коэффициент сопротивления движению при первом проходе катка;

β_0 – постоянный коэффициент;

n – число проходов катка.

Значения коэффициента сопротивления движению катка можно принимать следующими:

при первом проходе:

по рыхлому щебню	0,18
по асфальтобетону	0,12–0,14

при проходе в конце укатки:

по щебню	0,07
по асфальтобетону	0,05–0,06

при движении по хорошим дорогам:

асфальтобетонное покрытие	0,045
булыжная мостовая	0,07
щебеночное шоссе	0,09
гравийное шоссе	0,097

Сопротивление от преодоления сил инерции при трогании катка с места:

$$W_3 = W'_3 + W_3'', \quad (5.5)$$

где W'_3 – сопротивление от преодоления сил инерции поступательно движущихся масс катка;

W_3'' – сопротивление от преодоления сил инерции вращающихся масс катка:

$$W'_3 = \frac{Q}{g} \cdot \frac{v}{t_p}, \quad (5.6)$$

где $\frac{Q}{g}$ – масса катка, (кН · с²)/м ;

$\frac{v}{t_p}$ – ускорение катка, м/с²;

v – рабочая скорость катка, м/с;

t_p – время разгона, с; $t_p = 2,0–2,5$ с.

Ввиду небольшой скорости дорожных моторных катков обычно считают, что сопротивление от преодоления сил инерции вращающихся масс катка невелико, и им можно пренебречь. Таким образом, можно считать, что $W_3 \approx W_3'$.

Исследованиями А. М. Холодова установлено, что влиянием вращающихся масс трансмиссии и главным образом маховика двигателя пренебрегать нельзя, особенно при больших передаточных числах трансмиссии. Сила сопротивления от сил инерции поступательно движущихся и вращающихся масс может быть определена по А. М. Холодову [8] по формуле

$$W_3 = \delta \frac{Qv}{gt_p},$$

где

$$\delta = 1 + \frac{l_1 g}{r_1^2 Q} + \frac{l_2 g}{r_2^2 Q} + \frac{l_M g}{Q} \left(\frac{i_n}{r_2} \right)^2, \quad (5.7)$$

где l_1 – момент инерции переднего вальца катка;

r_1 – радиус переднего вальца катка;

l_2 и r_2 – момент инерции задних валцов и приведенных к ним вращающихся частей трансмиссии и радиус заднего вальца катка;

l_M – момент инерции маховика и приведенных к нему вращающихся частей двигателя;

i_n – передаточное число трансмиссии от двигателя к ведущему валцу катка.

Однако при этом расчете следует учитывать, что двигатели внутреннего сгорания, устанавливаемые на дорожных катках, могут допускать перегрузку 10–15%, которая и реализуется в моменты разгона катка.

Соппротивление при кировании старого покрытия определяется по формуле

$$W_4 = nFk, \quad (5.8)$$

где n – число киров;

F – площадь одной кировки, погруженной в дорожное покрытие, см²;

k – удельное сопротивление кированию, $k = 1,7-2,5$ кг/см².

Соппротивление при проходе катка по закруглениям, возникающее вследствие затрудненности вращения направляющих валцов катка при их повороте, определяют по формуле

$$W_5 = k_1 Q_1, \quad (5.9)$$

где k_1 – опытный коэффициент; для движения по рыхлому щебню $k_1 = 0,3$; для движения по уплотненному щебню $k_1 = 0,2$;

Q_1 – вес катка, приходящийся на направляющие валцы;

Зная отдельные соппротивления, возникающие при работе катка, определяют суммарное соппротивление, учитывая наиболее тяжелые условия работы катка. После этого определяется необходимая сила тяги на ведущих валцах катка T . Найденную величину T необходимо проверить по условию сцепления ведущих валцов с поверхностью укатываемого покрытия:

$$T \geq \sum W \leq Q_{\text{сш}} \phi_{\text{сш}}, \quad (5.10)$$

где $Q_{\text{сц}}$ – сцепной вес катка, т. е. вес, приходящийся на его ведущие вальцы;

$\varphi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления ведущего вальца с поверхностью покрытия; для щебеночного покрытия $\varphi_{\text{сц}} = 0,5-0,6$; для булыжной мостовой $\varphi_{\text{сц}} = 0,5$.

Зная величину T , необходимую мощность двигателя определяют по формуле (5.1).

Производительность катка. Производительность моторных катков, $\text{м}^2/\text{ч}$, может быть подсчитана по следующей формуле:

$$\Pi = \frac{100(B - a)v}{n}, \quad (5.11)$$

где B – ширина укатываемой полосы, м;

a – ширина перекрытия полос при последующих проходах катка, $a = 0,2-0,25$ м;

v – средняя скорость движения катка при укатке, км/ч;

n – число проходов катка по одному следу; для асфальтобетонных покрытий $n \approx 25-30$; для щебеночных покрытий $n \approx 50-60$.

Средняя скорость движения катка определяется по формуле

$$v = \frac{L}{t_{\text{дв}} + t_{\text{рев}}}, \quad (5.12)$$

где L – длина укатываемой полосы, м;

$t_{\text{дв}}$ – среднее время движения катка за один проход, с;

$t_{\text{дв}} = \frac{L}{v}$, при этом v – скорость катка, м/с, на участке длиной L ;

$t_{\text{рев}}$ – время реверсирования, $t_{\text{рев}} = 1-2$ с.

Таблица 5.3

Исходные данные для тягового расчета катка

№ варианта	Марка катка	Длина участка уплотнения, м	Количество проходов	Толщина слоя грунта в плотном теле, см	Тип катка
1	КШЛ	150	23	10	Прицепной
2	КШС	180	24	25	Прицепной
3	Д-551	200	28	25	Самоходный
4	Д-130	250	30	30	Кулачковый
5	Д-165	300	35	25	Кулачковый
6	Д-220	340	40	30	Кулачковый

7	Амкодор Б223	400	45	35	Самоходный вибрационный
8	Амкодор 6712	420	40	40	Самоходный вибрационный
9	ДС-30	380	50	44	Пневмоколесный, самоходный, статический
10	МоАЗ 6442	330	50	45	Самоходный

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Дорожно-строительные машины: учеб. для студентов дорожных специальностей / А. В. Вавилов [и др.]. – Минск: Технопринт, 2000. – 515 с.
2. Мигляченко, В. П. Дорожно-строительные машины: учеб. пособие для профтехучилищ / В. П. Мигляченко. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 224 с.
3. Дорожные машины: учеб. для вузов / Н. Я. Хархута [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1976. – 470 с.
4. Справочник конструктора дорожных машин / под ред. И. П. Бородачева. – М.: Машиностроение, 1973. – 504 с.
5. Алексеева, Т. В. Машины для земляных работ: учеб. для студентов дорожных специальностей / Т. В. Алексеева, К. А. Артемьев, А. А. Бромберг. – М.: Машиностроение, 1974. – 467 с.
6. Артемьев, К. А. Основы теории копания грунта: учеб. для вузов / К. А. Артемьев. – М.: Машгиз, 1973. – 128 с.
7. Дорожные машины: учеб. для вузов / Е. Р. Петерс [и др.]. – М.: Дориздат, 1970. – 250 с.
8. Холодов, А. И. Теоретические и экспериментальные исследования землеройно-строительных машин / А. И. Холодов // Сб. трудов МИСП. – Минск, 1971. – 240 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
1. Программа дисциплины.....	4
Введение.....	4
1.1. Общие сведения.....	4
1.2. Машины для подготовительных работ.....	5
1.3. Землеройно-транспортные машины.....	6
1.4. Машины для разработки мерзлых грунтов.....	6
1.5. Машины для уплотнения земляного полотна дорожных оснований и покрытий.....	7
1.6. Машины для добычи и переработки каменных материалов.....	7
1.7. Машины и оборудование для постройки усовершенствованных и асфальтобетонных дорожных покрытий.....	7
1.8. Машины для ремонта и содержания автомобильных лесовозных дорог.....	8
1.9. Эксплуатация дорожно-строительных машин.....	8
1.10. Техника безопасности при работе на дорожно-строительных машинах.....	8
1.11. Основы дорожного дела.....	8
2. Контрольные задания.....	9
2.1. Контрольная работа № 1.....	9
2.2. Контрольная работа № 2.....	12
3. Методика тягового расчета машин для подготовительных работ	12
3.1. Кусторезы.....	13
3.2. Корчеватели.....	14
3.3. Рыхлители.....	16
4. Методика тягового расчета землеройно-транспортных машин	20
4.1. Бульдозеры.....	20
4.2. Скреперы.....	28
4.3. Грейдеры и автогрейдеры.....	38
5. Методика тягового расчета машин для уплотнения дорожных оснований.....	47
5.1. Машины статического действия.....	49
5.2. Вибрационные машины для уплотнения дорожных оснований.....	50
Рекомендуемая литература.....	56

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Составители:

Смеян Антон Иванович
Симанович Василий Антонович
Демидов Валерий Алексеевич

Редактор **О. П. Соломевич**

Подписано в печать 01.07.2008. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 3,4. Уч.-изд. л. 3,5.
Тираж 65 экз. Заказ .

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006. Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004.