

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Двоеглазов Семен Иванович
Должность: Директор
Дата подписания: 30.06.2025 16:16:01
Уникальный программный ключ:
2cc3f5fd1c09cc1a69668dd98bc3747111a1a535



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Старооскольский филиал

федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения
высшего образования
**«Российский государственный геологоразведочный
университет имени
Серго Орджоникидзе»
(СОФ МГРИ)**

***Кафедра горного дела, экономики и
природопользования***

С.В. Мироненко

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению курсового проекта
по дисциплине «Технология и комплексная механизация
бульдозерных горных работ»
для студентов, обучающихся по специальности
21.05.04 «Горное дело»

Рекомендовано Ученым советом СОФ МГРИ

Старый Оскол, 2022 г.

УДК: 622.271.
ББК 65.304

Составитель: канд. техн. наук Мироненко С.В.,

Рецензент: канд. техн. наук Харламов Д.А.

Технология и комплексная механизация бульдозерных горных работ: методические указания для выполнения курсового проекта / сост.: С.В. Мироненко, – Старый Оскол: СОФ МГРИ, 2022 г. –60 с.

В методических указаниях для выполнения курсового проекта по специальности 21.05.04 «Горное дело» изложены расчетные методики и задания для выполнения курсового проекта, приведены справочные материалы.

Утверждено и рекомендовано к изданию Ученым советом СОФ МГРИ (протокол № 10 от 29 августа 2022 г.).

© Старооскольский филиал ФГБОУ ВО
«Российский государственный геологоразведочный
университет имени Серго Орджоникидзе»

Содержание

Введение.....	5
1. Цели и задачи курсового проектирования.....	6
2. Порядок выполнения курсового проекта.....	8
3. Требования к оформлению курсового проекта.....	10
4. Исходные данные к расчёту бульдозера.....	12
5. Расчёт бульдозера.....	12
5.1. Определение параметров бульдозера.....	12
5.2. Основные параметры отвала.....	18
5.3. Силы, действующие на отвал.....	21
5.4. Определение сопротивления копанию грунта бульдозером.....	25
6. Эффективная мощность двигателя тягача.....	33
7. Эксплуатационная производительность.....	33
8. Энергоёмкость процесса разработки и перемещения грунта бульдозером.....	34
9. Расчётная схема сил, действующих на бульдозер.....	35
9.1. Расчётные положения.....	35
Расчётное положение 1.....	38
Расчётное положение 2.....	41
Расчётное положение 3.....	42
Расчётное положение 4.....	43
Расчётное положение 5.....	43
9.2. Определение сил, действующих на бульдозер с поворотным отвалом.....	46
10. Устойчивость бульдозера.....	50

10.1. Продольная устойчивость.....	50
10.2. Поперечная устойчивость.....	56
Приложения.....	59

Введение

Самостоятельная работа студентов является основным способом овладения учебным материалом в свободное от аудиторных занятий время.

Одна из ее форм - выполнение курсовых проектов. Их написание способствует формированию у студентов навыков самостоятельного научного творчества, повышению теоретической и профессиональной подготовки будущих специалистов.

Курсовой проект является одним из важнейших элементов учебного процесса и выполняется студентами в соответствии с учебными планами. Написание этой работы должно способствовать углубленному освоению материала лекционных курсов и приобретению навыков решения практических задач и ситуаций, развитию умения связывать вопросы теории с практикой проведения аналитических, проектных работ и определения технического состояния бурового оборудования.

Главная цель методических указаний - повышение уровня организации и качества выполнения курсовых проектов студентами по специальности 21.05.04 «Горное дело» специализация №3 «Открытые горные работы»

1. Цели и задачи курсового проектирования

Наряду с аудиторными занятиями выполнение курсового проекта способствует углублению знаний студентов по специальности 21.05.04 «Горное дело» специализация №3 «Открытые горные работы» в сфере проектирования бурового оборудования. Курсовой проект - это самостоятельное, содержательное, выполненное под руководством преподавателя поисковое исследование. Оно имеет теоретическую составляющую анализа актуальных методов проведения проектных работ, а также содержит анализ практического опыта, приобретенного студентами в рамках предметных дисциплин и прохождения практик. Выполнение курсового проекта позволяет сформировать у студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализация №3 «Открытые горные работы» следующие компетенции:

ПСК 3-4. Рассчитывать основные параметры (элементы) карьеров, отвалов, рабочих площадок и берм в карьере и на отвале; выполнить технико-экономическое обоснование рассматриваемых вариантов; пользоваться нормативной и справочной литературой.

Также сформировать умения:

- самостоятельно работать с литературными источниками, статистической отчетностью, нормативно-справочной документацией и ресурсами Интернета;
- самостоятельно подбирать, систематизировать и анализировать конкретный материал;
- делать на основе анализа соответствующие выводы и предложения по теме исследования;
- обосновывать актуальность выбранной темы, ее ценность и значимость для предприятия и отрасли;
- осуществлять сбор и анализ статистического материала с использованием соответствующих методов обработки и анализа информации;
- разрабатывать рекомендации по повышению эффективности функционирования бурового оборудования

предприятия на основе проведенного анализа;

- четко излагать свои мысли, правильно оформлять проект в соответствии с нормативными требованиями.

Задачи, которые ставятся перед студентами в процессе подготовки курсового проекта, включают:

- изучение литературы, справочных и научных источников по теме исследования;

- определение объекта и предмета исследования;

- самостоятельный анализ основных концепций по изучаемой проблеме, выдвигающихся отечественными и зарубежными специалистами.

Глубокая разработка проблемы достигается в том случае, если она исследовалась сначала в курсовом проекте, а затем в выпускной квалификационной работе. Но даже если темы курсового проекта и ВКР будут различны, написание курсового проекта поможет студентам приобрести навыки увязки вопросов теории с практической деятельностью, опыт работы с литературой научно-производственной и технической тематики, а также со статистической информацией.

2. Порядок выполнения курсового проекта

Для выполнения курсового проекта студенту необходимо самостоятельно (либо по согласованию с преподавателем), произвести выбор первоначальных данных. В исходные данные входит:

- 1) Вид открытых горных разработок;
- 2) Тип разрабатываемых грунтов;
- 3) Углы наклона рабочих поверхностей;
- 4) Тип рассматриваемого бульдозера с полным перечнем технических характеристик;

Кроме того, необходимо определиться с видом модернизируемого узла (данный шаг выполнения курсового проекта является основополагающим и требует обсуждения с преподавателем).

В первом разделе курсового проекта необходимо дать полнообъемное описание разрабатываемой местности, характеристики грунтов и т.д., тип выбранного бульдозера, его технические характеристики, представить схемы и чертёжную документацию.

Далее необходимо произвести типовой расчёт бульдозера, представленный в данном методическом материале. Следует иметь ввиду, что для выполнения работы, не обязательно рассмотрение каждого пункта. В зависимости от исходных данных содержание курсовой работы может исключать некоторые разделы.

После проведения типового расчёта, необходимо произвести обоснование модернизации выбранного узла или механической системы. Обоснование выражается в увеличении производительности бульдозера, увеличении надёжности, уменьшении расходных материалов при существующей производительности.

Объём чертёжной документации курсового проекта не ограничивается. Обязательными чертежами являются:

- 1) Чертёж модернизируемого узла до модернизации и после (общий вид, детализовка);
- 2) Чертёж общего вида бульдозера.

Примерная структура и содержание курсового проекта:

- 1) Титульный лист;
- 2) Бланк задания на курсовой проект;
- 3) Аннотация;
- 4) Содержание;
- 5) Введение;
- 6) Общие сведения о оборудовании и технологии выполняемых им работ;
- 7) Выбор марки и модели оборудования;
- 8) Состав, устройство и работа основных систем бульдозера;
- 9) Проведение исследовательской работы по усовершенствованию, реконструкции или модернизации бульдозера;
- 10) Основные неисправности и отказы технических систем бульдозера;
- 11) Модернизация узла или системы бурового оборудования (с применением литературного обзора);
- 12) Аналитический расчёт сущности модернизации (экономическая эффективность обязательна);
- 13) Заключение;
- 14) Список использованных источников;

В тексте ПЗ должны быть ссылки на весь перечень, представленный в списке литературы.

Приложения включают в себя справочные таблицы, схемы, фотографии и прочие данные, дополняющие изложенный в основной части материал.

Образцы обязательных листов представлены в Приложениях.

3. Требования к оформлению курсового проекта

Структурно курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка общим объёмом от 30 листов формата А4 (шрифт 14 Gost type A, полуторный межстрочный интервал, выравнивание текста по ширине страницы), оформляется в соответствии с требованиями.

Курсовой проект должен отвечать всем требованиям задания. Все схемы, приведённые в проекте, должны быть объяснены в текстовой части и наоборот – все пояснения, данные в тексте, должны иллюстрироваться схемами, эскизами, чертежами.

Курсовой проект должен быть сброшюрован, аккуратно оформлен и подписан автором с указанием даты окончания работы, страницы пронумерованы. Нумерация страниц текста начинается с титульного листа, но на титульном листе номер не указывается. Объем приложений не ограничивается. На каждом листе ПЗ должна быть рамка с полями: с левой стороны - 20 мм, со всех остальных - 5 мм.

Расстояние от рамки до границ текста должно быть:

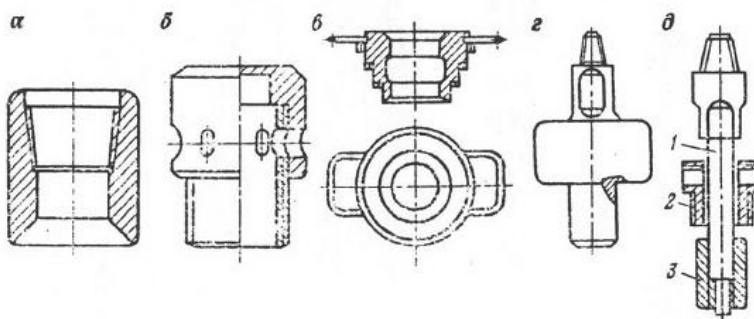
- в начале строк - не менее 5 мм;
- в конце строк - не менее 3 мм.

Расстояние от верхней и нижней строк текста до рамки должно быть не менее 10 мм. Сокращения слов в тексте и заголовках за исключением общепринятых не допускаются. Нельзя также использовать вместо наименования показателей их условные обозначения.

Содержание курсового проекта делится на разделы в соответствии с заданием. Каждый раздел начинается с нового листа. Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами. Разделы «Введение» и «Содержание» не нумеруются. Таблицы применяются для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Слово «Таблица» пишется слева над таблицей, название таблицы располагается на этой же строке (выравнивание по ширине

листа).

Пример оформления подрисуночной надписи представлен на рисунке ниже.



а-забивной башмак; б-забивная резьбовая головка;
в- ступенчатая забивная головка; г- забивной груз; д-
выбивной снаряд.

Графическая часть оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109-73 ЕСКД.

4. Исходные данные к расчёту бульдозера

Основной средой, с которой работает бульдозер, является грунт. Поэтому необходимыми данными для расчета основных параметров бульдозерного оборудования должны быть, тип разрабатываемого грунта, его категория, плотность и угол наклона поверхности.

Не менее важными являются и некоторые параметры используемого тягача.

Исходные данные к расчету бульдозера приведены в табл. 1.

5. Расчет бульдозера

5.1. Определение параметров бульдозера

За главный параметр бульдозеров принимается номинальное тяговое усилие трактора или тягача, которое определяется как:

$$T_i = G_{nd} \cdot \varphi_{nd}; \quad (1)$$

где G_{nd} - сцепной вес бульдозера, φ_{nd} (если канат ослаблен или золотник гидрораспределителя механизма управления отвалом находится в нейтральном положении - сцепной вес равен весу трактора; при запертом положении золотника или натянутом канате сцепной вес складывается из веса трактора и веса рабочего оборудования);

φ_{nd} - коэффициент сцепления, зависящий от типа движителя, назначения машины и свойств грунта (значения φ_{nd} приведены в табл. 2).

Сцепной вес можно найти из формулы:

$$G_{nd} = m_{nd} \cdot g ; \quad (2)$$

где m_{nd} - сцепная масса, т;

g - ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

Таблица 1

Исходные данные к расчёту бульдозера

Номер варианта	Номинальное тяговое усилие, кН	Тип ходового оборудования	Длина опор, поверхность, гусеницы, м	Ширина гусеницы, м	Площадь опоры колеса, м ²	Угол захвата отвала, град.	Положение системы управления отвалом	Тип грунта	Плотность грунта, т/м ³	Удельное сопротивление резанию грунта, кН/м ²	Угол уклона местности, град.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	30	гусенич.	2,00	0,40	-	90	0	связный	1,90	70	0
2	30	гусенич.	2,30	0,42	-	27	1	связный	1,80	80	5
3	30	гусенич.	2,20	0,45	-	90	0	связный	1,85	75	0
4	40	гусенич.	2,40	0,45	-	30	0	связный	1,95	100	0
5	40	гусенич.	2,35	0,40	-	90	1	связный	1,65	85	2
6	100	гусенич.	2,35	0,55	-	30	0	связный	1,94	150	0
7	100	гусенич.	2,30	0,55	-	63	1	связный	1,90	120	0
8	100	колесн.	-	-	0,62	63	0	связный	1,87	110	2
9	50	колесн.	-	-	0,55	30	1	связный	1,70	100	5
10	50	колесн.	-	-	0,50	32	0	несвязный	1,65	90	6
11	100	колесн.	-	-	0,65	45	0	несвязный	1,55	95	0
12	150	гусенич.	2,80	0,65	-	30	1	несвязный	1,56	ПО	5
13	150	гусенич.	2,90	0,70	-	40	0	несвязный	1,65	90	3
14	250	гусенич.	3,60	0,85	-	35	1	несвязный	1,70	100	9

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	250	гусенич	3,50	0,85	-	90	0	несвязный	1,55	90	10
16	250	гусенич	3,50	0,83	-	30	0	несвязный	1,65	100	0
17	350	гусенич	3,80	1,00	-	30	1	несвязный	1,70	90	0
18	750	гусенич	5,10	1,00	-	90	0	несвязный	1,65	150	0
19	20	колесн.	-	-	0,35	90	0	связный	1,80	50	5
20	25	колесн.	-	-	0,26	30	1	связный	1,76	50	5
21	30	колесн.	-	-	0,40	35	0	связный	1,85	60	0
22	35	колесн.	-	-	0,35	90	1	связный	1,95	70	0
23	35	колесн.	-	-	0,52	45	1	связный	1,90	100	0
24	45	колесн.	-	-	0,55	30	0	связный	1,75	80	5
25	50	колесн.	-	-	0,60	90	1	несвязный	1,50	90	3
26	55	колесн.	-	-	0,48	32	0	несвязный	1,55	100	0
27	250	гусенич	3,80	0,85	-	90	1	несвязный	1,70	120	6
28	250	гусенич	3,70	0,80	-	90	1	несвязный	1,75	100	5
29	350	гусенич	4,80	1,00	-	30	0	несвязный	1,65	190	0
30	500	гусенич	4,90	1,10	-	90	1	несвязный	1,60	150	0

Примечание: цифра 1 в графе 8 означает, что положение золотника гидрораспределителя управления отвалом запертое или канат управления отвалом находится в натянутом состоянии; цифра 0 означает, что золотник гидрораспределителя управления отвалом - в плавающем положении или канат управления отвалом - в свободном состоянии

Коэффициент сцепления в зависимости от назначения трактора, типа движителя и вида грунта

Движитель	Коэффициент сцепления $\varphi_{сц}$	
	для связного грунта	для несвязного грунта
Гусеничный ход тракторов:		
сельскохозяйственных	0,9	0,6
промышленных	1,0	0,7
Колёсный ход тракторов:		
сельскохозяйственных	0,7	0,6
промышленных	0,9	0,7

При использовании на тягачах бульдозерного оборудования:

$$m_{nd'} = (1,17 - 1,22) \cdot m_{a.э.}; \quad (3)$$

где $m_{a.э.}$ – масса базовой машины, т .

При навешивании на тягач рыхлительного оборудования:

$$m_{nd'} = (1,25 - 1,35) \cdot m_{a.э.}; \quad (4)$$

К основным параметрам бульдозеров относится среднее удельное давление ходовой части бульдозера на грунт P ($\text{кГ} / \text{см}^2$)

Для гусеничных:

$$P = \frac{G_{\dot{a}}}{A} = \frac{G_{\dot{a}}}{2 \cdot B_{\dot{A}} \cdot L_{\dot{id}}}; \quad (5)$$

где $G_{\dot{a}}$ – вес бульдозера, н ;

A – площадь опорной поверхности гусеницы, м^2 ;

$B_{\dot{A}}$ – ширина гусеницы, м ;

$L_{\dot{id}}$ – длина опорной поверхности гусеницы, м .

В случае колёсного движения:

$$P = \frac{G_{\dot{a}}}{n \cdot F_{\varphi}}; \quad (6)$$

где n - количество колес;

F_K - опорная поверхность одного колеса, м^2 .

Эксплуатационная масса бульдозера определяется как:

$$m_{\dot{a}} = m_{\dot{a}. \ddot{e}} + m_{\dot{a}. \dot{i}}; \quad (7)$$

где $m_{\dot{a}. \dot{i}}$ – эксплуатационная масса бульдозерного оборудования, н .

Для гусеничных бульдозеров $m_{\dot{a}} = m_{\dot{a}\ddot{o}}$.

Среднее удельное давление ходовой части на грунт для большинства строительных и дорожных машин должно быть не более $3,5\text{--}6 \text{ т/м}^2$.

5.2. Основные параметры отвала

Рациональное значение ширины отвала B (м) находят по эмпирической формуле:

$$B = (1,2 - 1,4) \cdot \sqrt[3]{m_d}; \quad (8)$$

где m_d - эксплуатационная масса бульдозера, т.

Ширину неповоротного отвала бульдозера выбирают минимально возможной из расчета перекрытия габарита базовой машины по ширине или наиболее выступающих в стороны элементов толкающей рамы, не менее чем 70,0-100,0 мм с каждой стороны:

$$B_{\min} = B_T + (0,14 - 0,2); \quad (9)$$

Ширину поворотного отвала бульдозера выбирают аналогично, с учетом того, что он повернут в плане:

$$B' = B \cdot (1,3 - 1,33); \quad (10)$$

Высота отвала определяется силой тяги и грунтовыми условиями, для которых предназначается проектируемый бульдозер, и может быть:

Для бульдозера с поворотным отвалом:

$$H = 500 \cdot \sqrt[3]{T_f \cdot 0,1 - A_N \cdot \check{N}_f}; \quad (11)$$

Для бульдозера с неповоротным отвалом:

$$H = 450 \cdot \sqrt[3]{T_f \cdot 0,1 - A_N \cdot \dot{N}_f} ; \quad (12)$$

где T_f - номинальное тяговое усилие, ед ;

A_N - коэффициент, зависящий от номинального тягового усилия (при T_f до 400 ед , $A_N = 0,5$; больше 400 ед $A_N = 0,1$).

Радиус кривизны отвала обычно принимают приблизительно равным высоте, а для поворотных отвалов $R - (0,8 - 0,9) \cdot H$, где H - высота отвала.

При известных углах резания δ , опрокидывания ψ , наклона ε (рис. 1, табл. 3) R можно найти по формуле:

$$R = \frac{\sin(\varepsilon - \delta)}{\sin \varepsilon \left[1 - \sin \left(\psi + \delta - \frac{\pi}{2} \right) \right]} ; \quad (12)$$

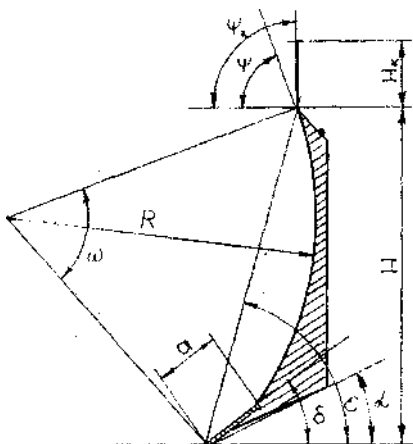


Рис. 1. Профиль отвала бульдозера

Высота козырька должна составлять (0,1-0,25) от высоты отвала H . Необходимо учитывать обзор при подъеме отвала в транспортное положение. Высота прямого участка отвала обычно равна высоте ножа. Этот участок оказывает значительное влияние на формирование стружки. Угол резания δ , угол заострения ножа P и задний угол α связаны между собой зависимостью (рис. 2).

$$\delta = \alpha + \beta; \quad (13)$$

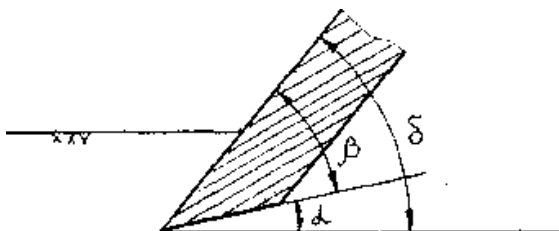


Рис. 2. Основные углы отвала бульдозера

Таблица 3

Основные углы отвала

Параметры	Неповоротный отвал, град.	Поворотный отвал, град.
δ	55	50-55
ε	75	75
ψ	70-75	60-75
ψ'_ε	90-100	90-100

Рекомендуемый диапазон регулирования угла перекоса составляет $0-10^\circ$ при гидрофицированном и $0-6^\circ$ при ручном управлении отвалом. Угол поворота отвала в плане устанавливают в пределах $25-30^\circ$.

5.3. Силы, действующие на отвал

Горизонтальная составляющая реакции со стороны грунта на отвал определяется как

$$R_{i\bar{a}} = \check{N}_i \cdot E_{\check{e}}; \quad (14)$$

где $\check{N}_i$ - номинальное тяговое усилие бульдозера, $e\acute{I}$;

E_T - коэффициент использования тягового усилия.

Обычно принимается равным 0,8.

Вертикальная составляющая реакции $R_v (e\acute{I})$ со стороны грунта на отвал:

$$R_{i\bar{a}} = R_{\bar{a}} \cdot \operatorname{tg} \nu; \quad (15)$$

где ν - угол наклона результирующей сил сопротивления рыхлению (для связных грунтов $\nu = 17$, несвязных $\nu = 0$).

Чтобы определить возможность разработки грунтов, рассматривают величину удельного напорного или горизонтального усилия $P_{\bar{A}} (\acute{I} / \acute{n}\check{e}^2)$, на режущей кромке ножа отвала:

$$P_{\bar{A}} = \frac{\check{N}_i}{\hat{A}}; \quad (16)$$

где $\check{N}_i$ - номинальное тяговое усилие, $e\acute{I}$;

$\hat{A}$ - ширина отвала, $\acute{n}\check{e}$;

Для выглубления рассматриваем систему сил, действующих на бульдозер относительно точки В:

$$D_{\dot{A} \max} = \frac{G_{\dot{a}} \cdot l_{\dot{a}}}{l_c}; \quad (19)$$

где $G_{\dot{a}}$ - эксплуатационный вес бульдозера, кН ;

После расчета удельных горизонтальных и вертикальных усилий на режущей кромке отвала определяют категорию грунта, на котором бульдозер может работать. Допустимые значения $D_{\dot{A}}$ и $D_{\dot{A}}$ представлены в табл. 4.

Зная горизонтальные и вертикальные составляющие реакции грунта на отвал, можно найти координату центра давления бульдозера (рис. 4):

$$x = \frac{G_{\dot{a}} \cdot l_{\dot{r}} + R_{i\dot{a}} \cdot l_1 - R_{i\dot{a}} \cdot h_R}{G_{\dot{a}} + R_{i\dot{a}}}; \quad (20)$$

где $G_{\dot{a}}$ - эксплуатационный вес бульдозера, кН ;

l_a - расстояние от центра тяжести бульдозера до оси ведущей звездочки, м ;

$R_{i\dot{a}}, R_{i\dot{a}}$ - вертикальная и горизонтальная составляющие результирующей сил сопротивления на отвале, кН ;

l_1 - расстояние от точки приложения результирующей сил сопротивления на отвале до оси ведущей звездочки, м ;

h_R - высота приложения результирующей сил сопротивления на отвале, м .

5.4. Определение сопротивления копанию грунта бульдозером

Тяговый расчет бульдозера проводят для момента окончания набора грунта перед отвалом, т.е. когда призма волочения полностью сформировалась и начинается выглубление отвала.

Рассмотрим последовательность тягового расчета бульдозера применительно к наиболее распространенному способу работы — лобовому резанию при бестраншейном способе копания. В общем случае сопротивление, возникающее перед отвалом, преодолевается касательной силой тяги, определяемой из выражения:

$$F_{\kappa} = F_{\kappa on} + F_f \pm F_i \pm F_j; \quad (21)$$

где F_{φ} - касательная сила тяги, $\varphi \dot{I}$;

$F_{\varphi id'}$ - сила сопротивления копанию, $\varphi \dot{I}$:

$$F_{\varphi id'} = F_p + F_{d\dot{a}} + F_c + F_{\dot{n}d} + F_{\dot{a}};$$

F_f - сила сопротивления перекачиванию, $\varphi \dot{I}$;

F_i - сила сопротивления преодолению уклона, $\varphi \dot{I}$;

(знак "+" ставится, если это подъем, а знак "-", если это уклон);

F_j - сопротивление, возникающее от неравномерно вращающихся масс, $\varphi \dot{I}$ (знак "+" ставится при разгоне, "-" - при торможении);

Касательную силу тяги можно записать, раскрывая $F_{\varphi id'}$:

$$F_{\varphi} = F_d + F_{d\dot{a}} + F_c + F_{\dot{n}d} + F_{\dot{a}} + F_f \pm F_i \pm F_j; \quad (22)$$

Для установившегося движения по горизонтальной поверхности:

$$F_{\kappa} = F_p + F_{np} + F_c + F_{mp} + F_a + F_f; \quad (23)$$

где F_d - сила сопротивления резанию, $e\dot{I}$;

$F_{d\dot{a}}$ - сила сопротивления от перемещения призмы волочения, $e\dot{I}$;

F_c - сила сопротивления от перемещения грунта вверх по отвалу (сжатие стружки), $e\dot{I}$;

$F_{\dot{n}d}$ - сила сопротивления трению ножа о грунт, $e\dot{I}$ (она учитывается в случае, когда канат ослаблен или золотник гидрораспределителя механизма управления отвалом находится в плавающем положении, т.е. нет жесткой связи между тягачом и отвалом);

$F_{\dot{a}}$ - сила сопротивления от перемещения грунта в сторону - в случае поворотного отвала, $e\dot{I}$;

F_f - сила сопротивления перекачиванию бульдозера, $e\dot{I}$.

Рассмотрим каждую составляющую отдельно:

$$F_p = E_d \cdot \hat{A} \cdot h; \quad (24)$$

где E_d - удельное сопротивление лобовому резанию, $e\dot{I} / \check{e}^2$;

$\hat{A}$ - ширина резания, $\check{e}$;

h - глубина резания во время перемещения призмы волочения, м; для связных грунтов $h = (0,07-0,11) \cdot \dot{I}$; несвязных $h = (0,08-0,15) \cdot \dot{I}$;

$\dot{I}$ - высота отвала, $\check{e}$.

Удельное сопротивление лобовому резанию в зависимости от категории грунта представлено в табл. 5.

Таблица 5

Удельное сопротивление лобовому резанию в зависимости от категории грунта

Категория грунта	1	2	3	4
$E_{\text{д}}, \text{кН/м}^2$	70	110	170	250

Сила сопротивления от перемещения призмы волочения определяется следующим образом:

$$F_{\text{дд}} = q_{\text{дд}} \cdot \rho_{\text{дд}} \cdot g \cdot f_{\text{дд}}, \quad (25)$$

где $q_{\text{нр}}$ – объем призмы волочения, м^3 ;

$\rho_{\text{зр}}$ – рыхленного грунта, т/м^3 (обычно $\rho_{\text{зр}}$ составляет 1,2-1,6 т/м^3);

$f_{\text{зр}}$ - коэффициент трения грунта по грунту (для связных $f_{\text{зр}} = 0,5$; для несвязных - 0,7).

Объем призмы волочения $q_{\text{дд}}$ (м^3):

$$q_{\text{дд}} = \frac{\hat{A} \cdot \hat{I}_0^2}{2 \cdot E_{\text{дд}}}; \quad (26)$$

где $\hat{A}$ - ширина отвала, м ;

H_0^2 - высота отвала с учетом козырька, м ;

$E_{\text{дд}}$ - коэффициент призмы волочения, зависящий от геометрических размеров отвала и свойств грунта (табл. 6).

**Коэффициент призмы волочения, зависящий от
геометрических параметров отвала и свойств грунта**

Н/В	0,15	0,3	0,35	0,4	0,45
E_{da} связи.	0,7	0,8	0,85	0,8	0,85
E_{da} несвязн.	1,15	1,2	1,25	1,3	1,5

Объем призмы волочения грунта можно определить и по формуле:

$$q_{da} = \frac{\hat{A} \cdot \dot{I}^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \cdot E_{\delta}}; \quad (27)$$

где φ_0 - угол внутреннего трения грунта;

E_{δ} - коэффициент, учитывающий форму призмы волочения ($E_{\delta} = 1,035$ при Н/В = 0,3-0,4).

Сопротивление от перемещения фунта вверх по отвалу, определяется из схемы (рис. 5):

$$F_c = G_{da} \cdot f_c \cdot \cos^2 \delta; \quad (28)$$

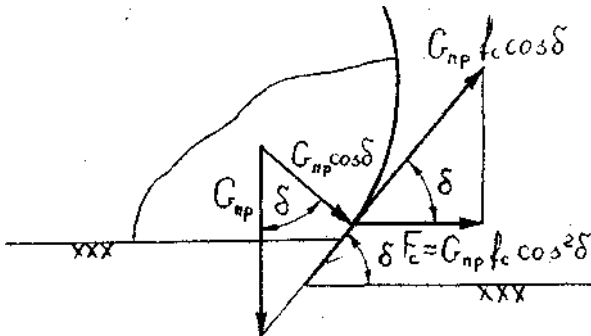


Рис. 5. Схема к определению сопротивления от перемещения грунта вверх по отвалу

Представляя, что вес призмы волочения $G_{da} = q_{da} \cdot \rho_{da} \cdot g$, сопротивление от перемещения грунта вверх по отвалу можно определить как:

$$F_c = q_{da} \cdot \rho_{da} \cdot g \cos^2 \delta \cdot f_c; \quad (29)$$

где δ - угол резания, ρ_{da} ;

f_c - коэффициент трения грунта по стали;

$$f_c = \alpha \cdot f_{da}; \quad (30)$$

где α - коэффициент пропорциональности ($\alpha = 0,7-0,75$);

Коэффициент трения грунта по металлу:

песок и супесь - $f_c = 0,35$;

средний суглинок - $f_c = 0,5$;

тяжелый суглинок - $f_c = 0,8$;

Сопротивление трению ножа о грунт:

$$F_{na} = f_c \cdot (R_{ia} + G_o) = f_c \cdot (R_{ia} \cdot \operatorname{tg} \nu + G_o); \quad (31)$$

где R_{ia} , R_{ia} - горизонт. и вертикальные составляющие результирующей силы сопротивления копания, eI (см. рис. 4);

ν - угол наклона результирующей сил сопротивления копания, град;

G_o - вес рабочего оборудования.

Для бульдозеров с поворотным отвалом учитывается сопротивление от перемещения грунта вдоль отвала:

$$F_a = G_{da} \cdot f_c \cdot f_{\alpha} \cdot \cos \varphi; \quad (32)$$

где φ - угол захвата отвала, α - угол наклона отвала;

В случае учета угла захвата отвала:

$$\begin{aligned} F'_p &= F_p \cdot \sin \varphi; \\ F'_{da} &= F_{da} \cdot \sin \varphi; \\ F'_c &= F_c \sin \varphi; \end{aligned} \quad (33)$$

Сопротивление перекатыванию машины определяется как:

$$F_f = G_a \cdot f_c \cdot \cos \alpha; \quad (34)$$

где G_a - вес бульдозера, f_c -

f_c - коэффициент сопротивления перекатыванию тягача (табл. 7);

α - угол уклона местности, α - угол наклона отвала.

Таблица 7

Коэффициент сопротивления перекатыванию тягача

Двигатель	Грунт	
	Связный	несвязный
Гусеничный	0,06	0,1
Колесный	0,07	0,2

Сопротивление от преодоления подъема:

$$F_i = G_a \cdot \sin \alpha; \quad (35)$$

Сопротивление преодоления вращающихся масс:

$$F_j = K \cdot G_d \cdot \frac{v_p}{t_p}; \quad (36)$$

где K - коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс (для гусеничных тракторов $K = 1,0-1,1$; колесных - $1,3-1,5$);

v_p - рабочая скорость (при перемещении грунта $v_p = 0,8-1,0$; копании - $0,4-0,5$ м/с);

t_p - время разгона (составляет 2-4 с);

Зная касательную силы тяги, определяют максимальную глубину резания отвалом для случая формирования призмы волочения:

$$h_{\max} = \frac{\check{N}_i - G_d \cdot f \cdot \cos \alpha}{\varphi_\epsilon \cdot \hat{A} \cdot E_d \cdot \sin \varphi}; \quad (37)$$

где $\check{N}_i$ - номинальное тяговое усилие, кН ;

G_d - вес бульдозера, кН ;

f - коэффициент сопротивления перекачиванию;

α - угол уклон местности, град ;

φ - угол захвата, град ;

$\hat{A}$ - ширина отвала, м ;

φ_ϵ - коэффициент, учитывающий влияние угла резания (при $\delta = 50^\circ$ $\varphi_\epsilon = 1,35$; при $\delta = 55^\circ$ $\varphi_\epsilon = 1,65$);

E_d - удельное сопротивление резанию грунта, кН/м² ;

При транспортировке грунта необходимо учитывать его потери в боковые валики:

$$q_{d'} = q_{dd} \cdot K_{d'}; \quad (38)$$

где $q_{d'}$ - объем потерь, м^3 ;

q_{dd} - объем призмы волочения, м^3 ;

$K_{d'}$ - коэффициент потерь грунта в боковые валики; для связных грунтов $K_{d'} = 0,025-0,032$; несвязных $K_{d'} = 0,06-0,07$.

Глубина резания для возмещения потерь определяется как

$$h_{d'} = \frac{\Delta \cdot q_{dd}}{B^2}; \quad (39)$$

где Δ - опытный коэффициент; для связных грунтов $\Delta = 0,29$; несвязных - $\Delta = 0,45$.

Окончательный выбор тягача по заданным параметрам отвала производят при следующих условиях:

$$F_{\varphi id'} \leq \varphi_{\dot{n}\ddot{o}} \cdot G_{\dot{n}\ddot{o}}; F_{\varphi} \leq T_i \cdot K_{\ddot{n}}; \quad (40)$$

Если эти условия не выполняются, расчет начинают сначала, изменяя геометрические параметры отвала.

6. Эффективная мощность двигателя тягача

Эффективную мощность двигателя можно найти из соотношения:

$$N_i = \frac{F_{\epsilon} \cdot v_d}{\eta_{\epsilon}}; \quad (40)$$

где η_{ϵ} - механический КПД машины, $\eta_{\epsilon} = 0,88-0,93$;

v_d - рабочая скорость машины, м/с, $v_d = 1000 \cdot \frac{N_e \eta_T}{F_{\text{кон}}}$;

η_T - КПД трактора; для гусеничных $\eta_T = 0,7-0,8$; для колесных $\eta_T = 0,5-0,7$.

Рабочую скорость обычно принимают: 0,9-1 $\epsilon/\text{ч}$ - при перемещении машины и 0,4-0,5 - копании.

Количественное значение мощности N_i из приведенной формулы отражает ее затраты на реализацию расчетной касательной силы при определенной рабочей скорости.

7. Эксплуатационная производительность

Эксплуатационная производительность бульдозера $\check{D}_y$ ($\epsilon^3/\div$) определяется следующим образом:

$$\check{D}_y = \frac{3600 \cdot q_{dd} \cdot E_{\check{a}} \cdot E_{\acute{o}\epsilon}}{\check{N}_{\acute{o}}}; \quad (41)$$

где q_{dd} - объем призмы волочения, ϵ^3 ;

$E_{\check{a}}$ - коэффициент использования времени смены (0,8-0,85);

$E_{\acute{o}\epsilon}$ - коэффициент, учитывающий уклон (при горизонтальной поверхности $E_{\acute{o}\epsilon} = 1$, а ее уклона от 0-15°: при

подъеме $E_{\text{ог}} = 1-0,4$; спуске – $1-2,7$).

Время цикла $\check{N}_{\delta}$ (с) составит:

$$\check{N}_{\delta} = \frac{l_i}{v_i} + \frac{l_d}{v_d} + \frac{l_i + l_d}{v_{\delta}} + 2 \cdot t_{\text{дв}} + t_i + t_n; \quad (42)$$

где l_n, l_n - длина пути для набора и перемещения грунта, $\check{e}$;

v_i, v_d - скорость набора и перемещения, $\check{e} / \check{n}$;

v_{δ} - скорость холостого хода, $\check{e} / \check{n}$;

$t_{\text{дв}}$ - время поворота, $\check{n}$ (обычно $t_{\text{дв}} = 4-6 \check{n}$);

t_n - время переключения скоростей (принимают $2 \check{n}$);

t_i - время опускания отвала ($t_i = 3 \check{n}$).

Эксплуатационная производительность отражает количество разработанного грунта за единицу времени с учетом коэффициента использования времени смены. Значение Π , позволяет определить затраты времени на разработку заданного объема грунта.

8. Энергоёмкость процесса разработки и перемещения грунта бульдозером

Энергоемкость процесса разработки грунта $\dot{Y}$ - это отношение мощности двигателя к производительности бульдозера:

$$\dot{Y} = \frac{N_e}{\check{D}_y}; \quad (43)$$

Определяемое значение является важным показателем эффективности использования бульдозера и энергетических затрат при разработке грунта.

На современном этапе производства бульдозеров, в стадии их проектирования предусматриваются мероприятия, позволяющие существенно снизить энергозатраты на разработку грунта путем уменьшения количественного значения составляющих касательной силы тяги. Например, для снижения значения силы резания в последнее время широко используются конструктивные решения, позволяющие подавать в зону резания сжатый воздух, выполняющий роль смазки. Применение принудительной вибрации ножа или отвала в целом также ведет к снижению силы резания, помимо этого существенно снижается сила сопротивления движению стружки грунта вверх по отвалу.

В настоящее время как в нашей стране, так и за рубежом ведется поиск конструктивных решений по интенсификации рабочих органов, ведущей к снижению энергозатрат при разработке грунта.

9. Расчётная схема сил, действующих на бульдозер

9.1. Расчетные положения

На бульдозер с неповоротным отвалом во время работы действуют следующие силы: сила тяжести базовой машины $G_{a.э.}$, сила тяжести навесного оборудования G_0 , реакции со стороны грунта на отвал R_x и R_y , сила в упругом шарнире $\acute{O}_y$, усилия в механизме управления отвалом (гидроцилиндрах или канате), T_n – касательная сила тяги R_x , сила сопротивления передвижению базовой машины F_f , равнодействующая вертикальной реакции грунта N на ходовое оборудование, приложенная в центре давления.

При нормальных условиях работы точка приложения сил R_x и R_y на отвале будет от опорной плоскости на расстоянии: $h = (0,17 - 0,27) \cdot H$, где H - высота отвала без козырька. При этом для связных грунтов $H_R = 0,17 \cdot H$; несвязных - $0,27 \cdot H$.

Сила веса бульдозерного оборудования способствует заглублению отвала в грунт. Ее величина, в случае ослабленного каната управления или плавающего положения золотника управления гидроцилиндром подъема-опускания отвала, должна проверяться по условию заглубления отвала.

При работе бульдозер движется по горизонтальной поверхности; отвал лезвием ножа опирается на поверхность грунта; канаты подъемного полиспада не, натянуты (золотник гидрораспределителя находится в плавающем положении), т.е. $T_n = 0$. Вертикальная реакция грунта R_z направлена вверх, а горизонтальная R_x ($e\dot{I}$) является силой трения:

$$R_x = f_c \cdot R_z; \quad (44)$$

Учитывая неровность поверхности грунта и возможность работы передней грани ножа по срезанию неровностей, принимаем коэффициент трения ножа по грунту $f_c = 1$, R_z - реакция грунта на нож, направленная вверх, $e\dot{I} \cdot R_z = E' \cdot \dot{R}$, где E' - коэффициент несущей способности грунта.

Для средних условий обычно принимают:

$E' = 50-60 \text{ } \dot{I} / \dot{n}\check{\epsilon}^2$; $\dot{R} = \hat{A} \cdot \Delta$; $\dot{R}$ - площадь режущей кромки, см^2 ; $\hat{A}$ - длина ножа, см; Δ - ширина нижней площадки поверхности ножа, трущейся о грунт с учетом затупления ножа; $\Delta = 1,0-1,5 \text{ см}$.

Значения величины E' в зависимости от категорий грунта представлены в табл. 8.

Таблица 8

Предельная несущая способность грунта

Категория грунта	I	II	III	IV
$E', \dot{I} / \dot{n}\check{\epsilon}^2$	25	60	100	140

Минимальная сила тяжести рабочего оборудования G_0

($e\dot{I}$), необходимая для заглубления отвала в грунт, определяется из уравнения моментов сил, действующих на рабочее оборудование относительно точки У (упряжной шарнир) (рис. 6).

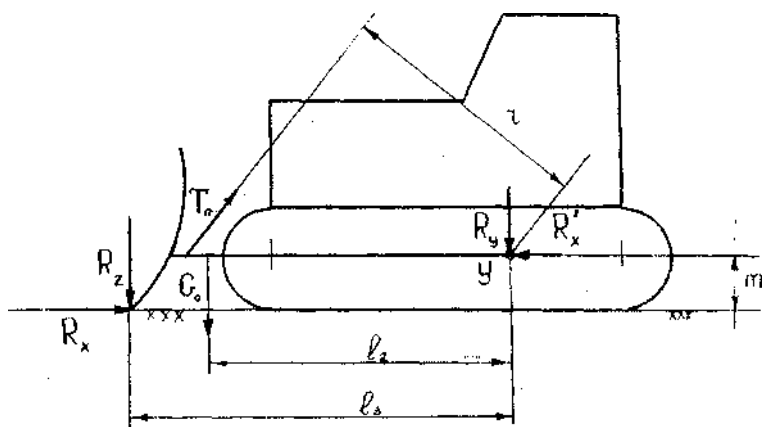


Рис. 6. Схема сил для определения $G_{o_{\min}}$ и T_n

$$G_{o_{\min}} = \frac{K' \cdot A \cdot (l_3 - f_c \cdot m)}{l_2}; \quad (45)$$

Условие заглубления:

$$G_o \leq G_{o_{\min}}; \quad (46)$$

Расчётное положение 1

Условие: внезапный упор в препятствие средней точкой отвала. Механизм подъема отвала в положении "заперто". Со стороны препятствия действуют: нормальная реакция и сила трения, направленная вверх, по касательной к ножу. Кроме того, на отвал действует реакция грунта на затупленную поверхность ножа R'_x и R'_z . Силы R_z и R_x ($e\acute{l}$) (рис. 7) - вертикальная и горизонтальная составляющие суммарной реакции грунта на нож, могут быть выражены уравнениями:

$$R_x = N \cdot \sin(\varphi_c + \delta) + R'_x; \quad (47)$$

$$R_z = N \cdot \cos(\varphi_c + \delta) + R'_z; \quad (48)$$

где φ_c - угол трения грунта по стали, $\acute{a}d\acute{r}\acute{a}$;

$\varphi_c = \arctg f_c$; f_c - коэффициент трения грунта по стали;

N - нормальная реакция грунта, $e\acute{l}$.

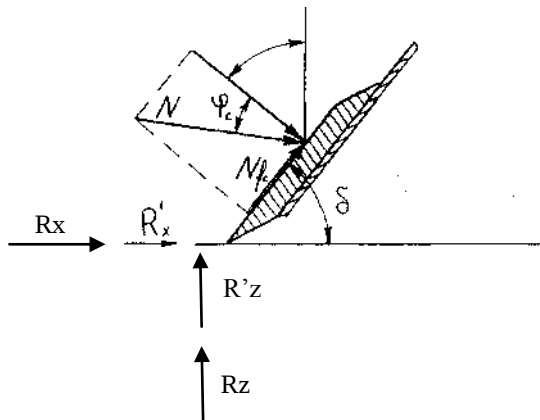


Рис. 7. Схема сил, действующих на нож отвала

После преобразований получим:

$$R_z = ctg(\varphi_c + \delta) \cdot (R_c - R'_x) - R'_z; \quad (49)$$

Из уравнения видно, что максимальное значение R_z , направленное вниз, будет при острых кромках и минимальном значении угла резания δ составлять: $R_z - ctg(\varphi_c + \delta) \cdot R'_x$

Максимальная сила R'_x , (φ'_I) составит:

$$R'_x = F_\varphi + F_{\dot{A}}; \quad (50)$$

где F_φ - касательная сила тяги, φ'_I ;

$F_{\dot{A}}$ - динамическое усилие, φ'_I ;

$$F_\varphi = G_{\dot{\delta}} \cdot \varphi_{\dot{\delta}_{\max}}; \quad (51)$$

где $\varphi_{\dot{\delta}_{\max}}$ - максимальный коэффициент сцепления: для гусениц $\varphi_{\dot{\delta}_{\max}} = 0,85-1,0$, принимают $\varphi_{\dot{\delta}_{\max}} = 1$; для пневматических колес $\varphi_{\dot{\delta}_{\max}} = 0,8-0,9$, принимают $\varphi_{\dot{\delta}_{\max}} = 0,8$.

$$F_{\dot{A}} = \nu_p \sqrt{\frac{G_{\dot{A}} \dot{N}}{g}}; \quad (52)$$

где ν_p - рабочая скорость бульдозера, м/с;

$G_{\dot{A}}$ - вес бульдозера, φ'_I .

Приведённая жёсткость навески бульдозера и препятствия $\dot{N}$:

$$\begin{aligned} C &= \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}; \\ C_1 &= \beta_{\text{жс}} B; \\ C_2 &= a_{\text{жс}} G_{\text{зр}}; \end{aligned} \quad (53)$$

где $\dot{N}_1$ - жесткость препятствия;

$\dot{N}_2$ - жёсткость металлоконструкции навесного оборудования бульдозера;

$\beta_{\text{с}}$ – коэффициент жёсткости препятствия на 1 $\dot{н\epsilon}$ длины отвала;

$\dot{r}_{\text{с}}$ - коэффициент жёсткости конструкции навесного оборудования на 1 $\text{с\acute{а}}$ массы трактора;

$\hat{A}$ - длина отвала, $\dot{н\epsilon}$;

$G_{\text{зд}}$ - вес поднимаемого грунта при выглублении отвала, $\text{с\acute{л}}$.

Для практических расчетов R_x можно найти по формуле:

$$R_x = G_{\dot{n\delta}} \cdot \varphi_{\dot{n\delta}} \cdot E_{\text{с\acute{а}}}; \quad (54)$$

где $E_{\text{с\acute{а}}}$ - коэффициент динамичности; $E_{\text{с\acute{а}}} = 1,5-2,5$.

Меньшее значение соответствует условиям стопорения отвала в грунте III категории, большее - упору в препятствие в виде кирпичной кладки. Для бульдозеров с гидродинамической трансмиссией коэффициент динамичности имеет меньшее значение, что обусловлено снижением начальной скорости буксования по сравнению с номинальной.

Расчётное положение 2

В процессе заглубления отвала и одновременном движении вперед по горизонтальной поверхности силу $\check{N}_d$, $e\dot{I}$, (на блоке полиспада подъема или штоке гидроцилиндра) можно определить из уравнения моментов сил, действующих на рабочее оборудование бульдозера относительно точки У (рис. 6):

$$\check{N}_d = \frac{(G_o \cdot l_2 + R_z \cdot l_3 + R_x \cdot m)}{r}; \quad (55)$$

Принимаем, что трактор вывешивается на средней точке отвала, при этом цилиндры развивают усилие, достаточное для опрокидывания трактора относительно точки А (рис. 8).

Вертикальное усилие:

$$R_{z3} = \frac{G_d \cdot l_r}{(L_{id} + l_n)}; \quad (56)$$

где G_d - вес бульдозера, $e\dot{I}$.

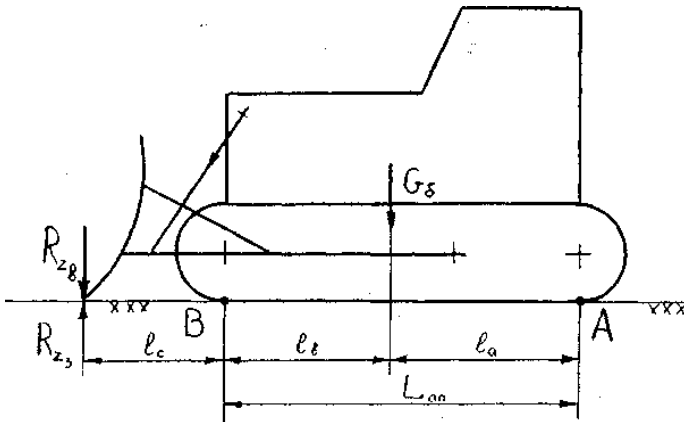


Рис. 8. Схема сил, действующих на бульдозер при определении вертикальных усилий

Расчётное положение 3

В процессе заглабления отвала и одновременном движении вперед по горизонтальной поверхности трактор вывешивается на крайней точке отвала, при этом развивает усилие, достаточное для своего опрокидывания относительно точки А. Кроме вертикального и горизонтального усилий на нож отвала действует боковое усилие:

$$R_y = \frac{F_{\epsilon} \cdot B}{2 \cdot (l_c + L_{id'})}; \quad (57)$$

где F_{ϵ} - касательная сила тяги, $\epsilon \text{ т}$;

B - ширина отвала, м .

Расчётное положение 4

В процессе выглубления отвала и одновременном движении вперед по горизонтальной поверхности тягач вывешивается на средней точке отвала, при этом развивает усилие, достаточное для своего опрокидывания относительно точки В (рис. 8):

$$R_{z_B} = \frac{G_{\dot{a}} \cdot l_{\dot{a}}}{l_{\dot{i}}}; R_x = (G_{\dot{a}} + R_z) \cdot \varphi_{\dot{i}\dot{a}_{\max}} + F_{\dot{A}}; \quad (58)$$

где $F_{\dot{A}}$ - динамическое усилие, $e\dot{l}$.

Расчётное положение 5

В процессе выглубления отвала и одновременном движении вперед по горизонтальной поверхности тягач вывешивается на крайней точке отвала, при этом развивает усилие, достаточное для своего опрокидывания относительно точки К (рис. 9):

$$R_y = \frac{F_{\epsilon} \cdot B}{2 \cdot l_c}; \quad (59)$$

В бульдозерах с гидравлическим механизмом перекоса отвала, в котором толкающие брусья не подвергаются изгибу под действием боковых сил, в дополнение к пяти расчетным положениям рассматривают специфические случаи нагружения, вызванные возникновением распорного усилия на боковой поверхности отвала при его подъеме (опускании) и горизонтальном расположении поперечной тяги с зафиксированными от сдвига по опорной поверхности гусеницами трактора.

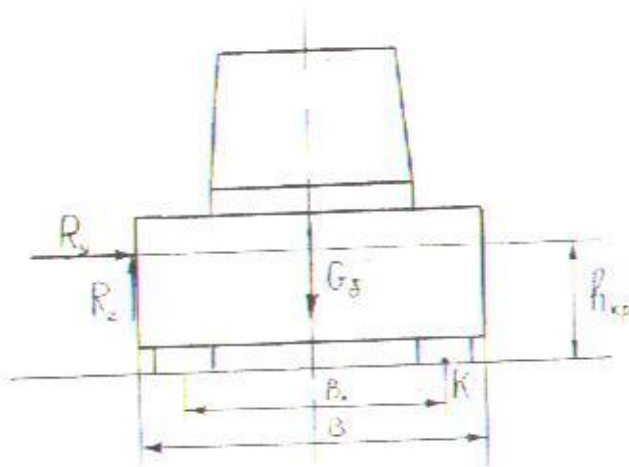


Рис. 9. Схема сил для определения R_y и R_z при пятом расчетном положении

В первом случае определяют напряжение отвала, упертого в препятствие только боковой поверхностью с жестко зафиксированными от сдвига по опорной поверхности гусеницами трактора (см. рис. 9).

Рассматриваем момент опрокидывания трактора относительно точки К, находящейся в плоскости внешних торцов катков гусеницы, для определения R_y , ($\epsilon \hat{I}$):

$$R_y = \frac{G_d \cdot B_e / 2}{[f_{dd} \cdot (\hat{A} + \hat{A}_e) / 2] + h_{ed}}; \quad (60)$$

где f_{dd} - коэффициент трения стали по материалу препятствия;

h_{ed} - высота точки крепления штанги на тракторе, ϵ .

Во втором случае определяют силу R_z из условия равновесия машины относительно задних опорных катков (см. рис. 9).

$$R_z = \frac{G_a \cdot l_a}{L_{id} + l_c}; \quad (61)$$

где L_{id} - длина опорной поверхности гусеницы, м ;

l_a, l_c - горизонтальные расстояния соответственно от заднего опорного катка до центра тяжести машины и от переднего опорного катка до режущей кромки отвала, м .

В результате внезапного удара о препятствие боковой поверхностью отвала и разворота машины на месте вокруг заторможенной гусеницы сила тяги практически полностью расходуется на преодоление сопротивления повороту. При ударе сила R_y (кН):

$$R_y = \omega \cdot \sqrt{J \cdot C}; \quad (62)$$

где ω - угловая скорость машины при повороте до удара, рад/с ;

J - момент инерции машины относительно оси ее поворота;

C - приведённая жёсткость препятствия и машины.

При этом:

$$J = \frac{G_a \cdot (\hat{A}_{\hat{n}}^2 + L_{\hat{n}}^2)}{12 \cdot g} + \frac{G_a \cdot B_e}{4 \cdot g}; \quad (63)$$

где $L_{\hat{n}}, \hat{A}_{\hat{n}}^2$ - длина и ширина трактора, м .

Приведённая жёсткость препятствия и машины:

$$\dot{N} = \frac{\dot{N}_1 \cdot \dot{N}_2}{\dot{N}_1 + \dot{N}_2}; \quad (64)$$

Реакция R_y в шарнире раскладывается на составляющие R_y и R_θ (рис. 6), которые определяются из условия равновесия системы сил, действующих на рабочее оборудование:

$$R'_\theta = R_x + \check{N}_d \cdot \cos \theta; \quad (65)$$

где $\check{N}_d$ - сила на блоке полиспаста или штока гидроцилиндра управления отвалом;

θ - угол наклона силы $\check{N}_d$ к толкающим брускам:

$$P_z = T_n \sin \theta - R_z - G_o; \quad (66)$$

Таким образом, максимальное усилие, возникающее в шарнире при упоре в препятствие, определится как:

$$P_y = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}. \quad (67)$$

9.2. Определение сил, действующих на бульдозер с поворотным отвалом

Для бульдозера с поворотным отвалом следует принимать расчетные положения 1-5.

Однако есть некоторые особенности, обусловленные установкой отвала под углом $\varphi \neq 90$. Действующая на отвал реакция грунта дает кроме R_θ и R_z еще и боковую горизонтальную составляющую R_y .

R_x определяется так же, как и для бульдозера с

неповоротным отвалом:

$$R_x = N \cdot \sin(\delta + \varphi_c) + R'_x; \quad (68)$$

где N - нормальная реакция грунта, кН;

φ_c - угол трения грунта по металлу;

R'_x - реакция грунта на затупленную поверхность ножа, кН .

$$N = R_x \cdot (1 + \operatorname{tg} \nu); \quad (69)$$

где ν - угол наклона результирующей силы к горизонтали, град .

Усилия R_z и R_y определяют из условий, справедливых для косого клина. Для граничных углов ($\delta = 90^\circ$) и $\varphi \neq 90^\circ$:

$$R_y = \operatorname{ctg} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{\sin \delta}{f_c \sin \omega} + \cos^2 \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi \right) + \varphi \right] \cdot R_x; \quad (70)$$

$$R_z = \frac{[(\cos \delta - f_c \sin \delta \cdot \cos \omega) \cdot R_x]}{\cos \psi_1 + f_c \cdot \sin \psi_1}; \quad (71)$$

Угол ω можно найти из соотношения:

$$\cos \omega = \cos \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad (72)$$

Максимальное значение R_y следует проверить по условиям сцепления ходового оборудования трактора с грунтом:

$$R_y l_4 \leq M_p; \quad (73)$$

Суммарный момент горизонтальных реакций грунта на ходовое оборудование M_p для гусеничных бульдозеров (рис. 10, а):

$$M_p = \frac{\eta_{d'} \cdot G_{\check{a}} \cdot L_{id'}}{4}; \quad (74)$$

где $\eta_{d'}$ - приведенный коэффициент сопротивления гусениц повороту; $\eta_{d'} = 0,7-1,0$ (при расчете на прочность принимаем максимальное значение η_n);

$G_{\check{a}}$ - вес, приходящийся на гусеницы трактора (при натянутом канате подъемного полиспаста $G_{\check{a}} = G_{\check{a}}$; при нейтральном положении золотника гидрораспределителя управления отвалом или натянутом канате полиспаста подъема отвала $G_{\check{a}} = G_{\check{n}}$);

$G_{\check{a}}$ - вес бульдозера;

$G_{\check{n}}$ - вес тягача;

Для бульдозера на пневмоколесном ходу (рис. 10, б):

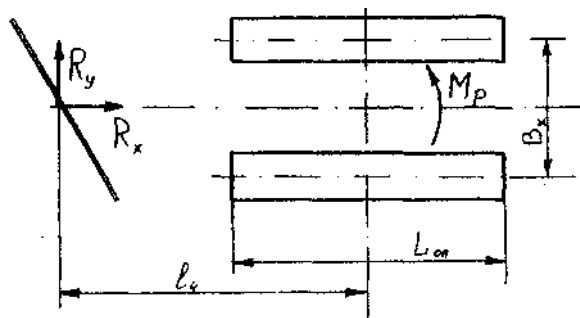
$$M_{p_1} = \varphi_{\check{n}\check{o}} \cdot G_A \cdot L_o; \quad (75)$$

Или

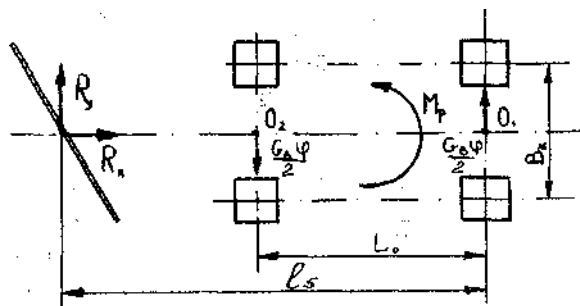
$$M_{p_2} = \varphi_{\check{n}\check{o}} \cdot G_B \cdot L_o; \quad (76)$$

где $\varphi_{\check{n}\check{o}}$ - коэффициент сцепления колес с грунтом;

G_A и G_B - вес, приходящийся соответственно на передние и задние колеса трактора, eI .



а



б

Рис. 10. Схема определения сил, действующих на бульдозер с поворотным отвалом: а - гусеничный; б - колесный

Суммарный момент M_{p_1} соответствует повороту трактора под действием силы R_y вокруг точки O_1 , а M_{p_2} — повороту вокруг точки O_2 .

В первом случае сила:

$$P_y = \frac{M_{p_1}}{l_4}; \quad (77)$$

Во втором:

$$P_y = \frac{M_{p_2}}{l_4 - L_{on}}; \quad (78)$$

Меньшее из полученных значений является максимальным значением силы R_y по условию сцепления колес с грунтом и соответствует случаю поворота трактора, возможному в данных условиях.

10. Устойчивость бульдозера

10.1. Продольная устойчивость

При движении бульдозера под уклон и внезапной встрече отвала с труднопреодолимым препятствием может произойти потеря его устойчивости и опрокидывание. В результате stop-порения машины, за счет запаса кинетической энергии, деформируется препятствие и рабочее оборудование, а движитель отрывается от опорной поверхности и центр тяжести машины смещается вверх и вперед. При запертом положении гидроцилиндра управления отвалом опрокидывание бульдозера происходит относительно кромки отвала.

Принимаем, что деформирование рабочего оборудования и препятствия мало в сравнении со смещением центра тяжести машины (рис. 11).

Тогда из условия:

$$\frac{G_{\dot{a}} \cdot v^2}{2 \cdot g} = G_{\dot{a}} \cdot \Delta h; \quad (79)$$

При:

$$R = \sqrt{l_0^2 + h_0^2}; \quad \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{h_0}{l_0}; \quad (80)$$

Можно найти угол наклона поверхности движения бульдозера, при котором возможно опрокидывание:

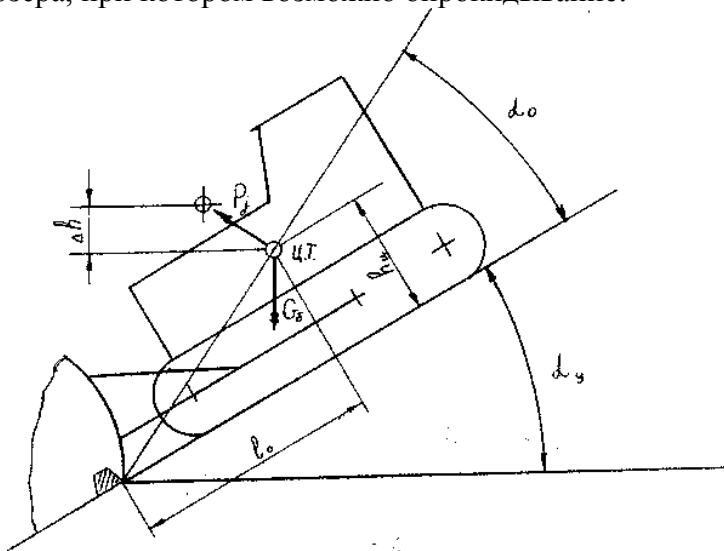


Рис. 11. Схема для определения устойчивости бульдозера в рабочем процессе

$$\alpha_y = \arcsin \left[\frac{1 - v^2}{2gR} \right] - \alpha_0; \quad (81)$$

где G_B – сила тяжести бульдозера;

v – скорость движения машины на момент встречи отвала с препятствием;

g – ускорение свободного падения тела;

l_0, h_c – координаты центра тяжести бульдозера

относительно кромки ножа отвала.

Определяя угол наклона поверхности движения бульдозера в рабочем процессе, необходимо учитывать коэффициент запаса устойчивости, равный 1,2. Допустимые углы наклона поверхностей движения в транспортном режиме определяются из условий устойчивости, скольжения (сползания) и реализации 100 % мощности силовой установки.

При движении бульдозера вперед под уклон (рис. 12) с одновременным торможением возможен отрыв задней части движителя от опорной поверхности. Опрокидывание происходит относительно точки О.

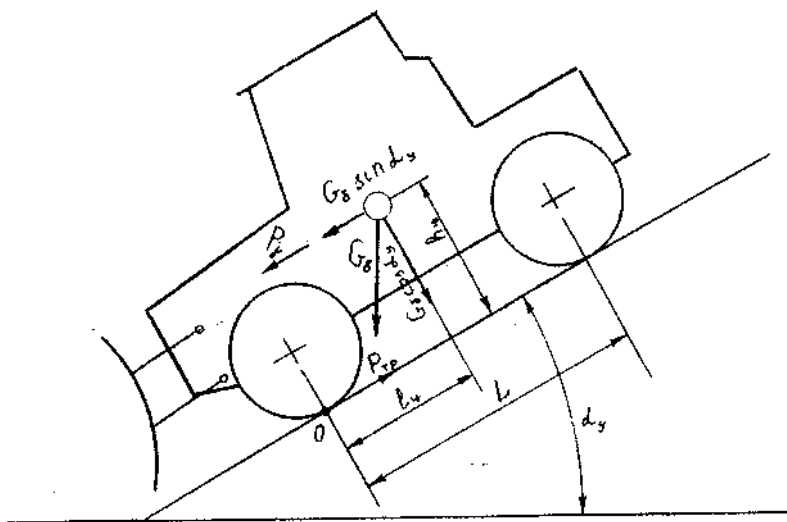


Рис. 12. Схема для определения продольной устойчивости бульдозера

В этом случае:

$$P_{nd} = \varphi_{n\ddot{o}} \cdot G_0 \cdot \cos \alpha_y ; \quad (82)$$

где $\varphi_{n\ddot{o}}$ - коэффициент сцепления движителя с опорной поверхностью.

Из условия $\sum P_x = 0$ вытекает, что:

$$P_j = G_{\dot{a}} \cdot (\varphi_{\dot{n}\dot{o}} \cos \alpha_y - \sin \alpha_y); \quad (83)$$

где P_j - сила инерции, прикладываемая к центру тяжести машины.

Тогда опрокидывание бульдозера возможно, если:

$$l_{\dot{o}} \cdot G_{\dot{a}} \cos \alpha_y = (P_j + G_{\dot{a}} \sin \alpha_y) \cdot h_{\dot{o}}; \quad (84)$$

Отсюда:

$$l_{\dot{o}} = \varphi_{\dot{n}\dot{o}} \cdot h_{\dot{o}}; \quad (85)$$

где $l_{\dot{o}}$, $h_{\dot{o}}$ - коэффициенты центра тяжести машины относительно точки О.

Если соблюдается неравенство $l_{\dot{o}} \geq \varphi_{\dot{n}\dot{o}} \cdot h_{\dot{o}}$, опрокидывание бульдозера вперед невозможно. Однако возможно его сползание по наклонной поверхности, когда:

$$\frac{l_{\dot{o}}}{h_{\dot{o}}} = \operatorname{tg} \alpha_y = \varphi_{\dot{n}\dot{o}}; \quad (86)$$

Таким образом, учитывая коэффициент запаса устойчивости (1,2) для машины с гусеничным или пневмоколесным двигателем со всеми тормозными колесами, предельный угол уклона по сцеплению можно найти из выражения:

$$\alpha_y = \arctg \frac{\varphi_{\dot{n}\ddot{o}}}{1,2}; \quad (87)$$

При условии, что тормозными колёсами являются только задние:

$$\alpha_y = \arctg \left(\frac{1}{1,2} \cdot \frac{l_{\ddot{o}}(\varphi_{\dot{n}\ddot{o}} - f) + f \cdot L}{L + (\varphi_{\dot{n}\ddot{o}} - f) \cdot h_{\ddot{o}}} \right); \quad (88)$$

где L - база машины;

f - коэффициент сопротивления перекачиванию бульдозера.

В случае $l_{\ddot{o}} \leq \varphi_{\dot{n}\ddot{o}} \cdot h_{c\ddot{o}}$, возможно опрокидывание бульдозера относительно точки О (рис. 12). Здесь предельный угол уклона определяется равенством:

$$\alpha_y = \arctg \left[\frac{l_{\ddot{o}}}{1,2h_{\ddot{o}}} \right]; \quad (89)$$

При движении бульдозера на подъем возможно его опрокидывание относительно задних колес или сползание юзом назад. Кроме этого необходимо учитывать, что угол подъема ограничивается запасом мощности двигателя.

Предельный угол подъема по условию опрокидывания бульдозера при его движении передним ходом вычисляют с помощью соотношения:

$$\alpha_y = \arctg \left[\frac{L - l_y}{1,2h_y} \right]; \quad (90)$$

Угол подъема, преодолеваемый бульдозером по условию сцепления движителя с опорной поверхностью, определяется видом ходового оборудования:

При гусеничном или пневмоколесном со всеми ведущими колёсами:

$$\alpha_{\delta} = \arctg(\varphi_{\delta} - f); \quad (91)$$

Пневмоколесном с задней ведущей осью:

$$\alpha_y = \arctg \left[\frac{\varphi_{cy} l_y - fL}{L - \varphi_{cy} h_y} \right]; \quad (92)$$

При 100 %-м использовании мощности силовой установки, предельный угол подъема определяется из уравнения тягового баланса:

$$\frac{N \cdot \eta_{нд}}{\nu} = G_{\dot{a}} \cdot (\sin \alpha_y + f \cos \alpha_y); \quad (93)$$

где N - мощность силовой установки, кВт;

$\eta_{нд}$ - КПД трансмиссии и ходового оборудования тягача;

$G_{\dot{a}}$ - сила тяжести бульдозера, кН ;

Допуская, что $1 + f^2 \approx \sqrt{1 + f^2}$, получим формулу для определения максимального угла подъема при 100 %-й реализации мощности двигателя:

$$\alpha_y = \arcsin \left[\frac{N \cdot \eta}{G_d \cdot v \cdot (1 + f^2)} - f \right]; \quad (94)$$

10.2. Поперечная устойчивость

Поперечная устойчивость бульдозера оценивается по следующим условиям:

- опрокидывание на наклонной поверхности;
- опрокидывание при движении на закругленных участках дороги;
- потеря сцепления движителя с опорной поверхностью.

Допустимый угол поперечного уклона по условию опрокидывания определяется из выражения (рис. 13):

$$\alpha_d = \arctg \left[\frac{0,5 \cdot B - e}{1,2 \cdot h_d} \right]; \quad (95)$$

где B - колея тягача;

e - эксцентриситет центра тяжести относительно продольной оси машины (при ориентировочных расчетах можно эксцентриситет центра тяжести принимать равным нулю);

h_d - высота центра тяжести.

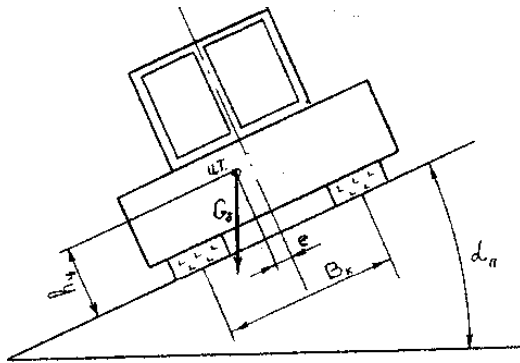


Рис. 13. Схема для определения поперечной устойчивости бульдозера

На закруглениях дороги, по условию опрокидывания, коэффициент запаса определяется из следующих условий (рис. 14):

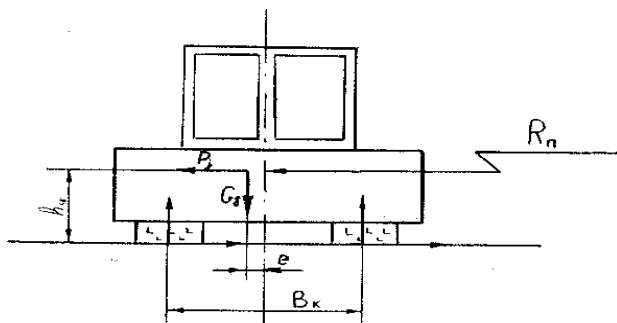
$$E_{\text{опн}} = \left[\frac{(0,5 \cdot \hat{A} - \hat{l}) \cdot R_d \cdot g}{h_{\text{с}} \cdot v^2} \right] \geq 1,2; \quad (96)$$

где R_n - радиус закругления дороги, м ;

Коэффициент запаса поперечной устойчивости при движении на закруглениях дороги, по условию сцепления движителя с опорной поверхностью:

$$E_{\text{сн}} = \frac{0,8 \cdot \varphi_{\text{нс}} \cdot R_d \cdot g}{v^2} \geq 1,2; \quad (97)$$

По условию сцепления движителя с опорной поверхностью допустимый угол поперечного уклона находят с помощью равенства:



$$\alpha_d = \arcsin \left[\frac{0,8 \cdot \varphi_{\dot{n}\ddot{o}}}{1,2} \right];$$

Рис. 14. Схема для определения поперечной устойчивости при движении бульдозера по закруглению дороги

При выборе предельных углов продольной и поперечной устойчивости принимают их наименьшие значения из полученных в результате расчётов.

Министерство образования и науки РФ
Старооскольский филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе»
(СОФ МГРИ-РГТРУ)

Кафедра « _____ »

Специальность _____

Курс _____ Группа _____ Семестр _____

ЗАДАНИЕ

на курсовой проект по дисциплине «Комплексная механизация бульдозерных
горных работ» студента

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема проекта « _____ »
2. Срок сдачи студентом законченного проекта _____
3. Исходные данные к проекту

_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

4. Содержание курсового проекта

_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

5. Дата выдачи задания _____

Задание выдал, руководитель проекта,
к.т.н, доцент _____

С.В. Мироненко

Задание получил студент _____
