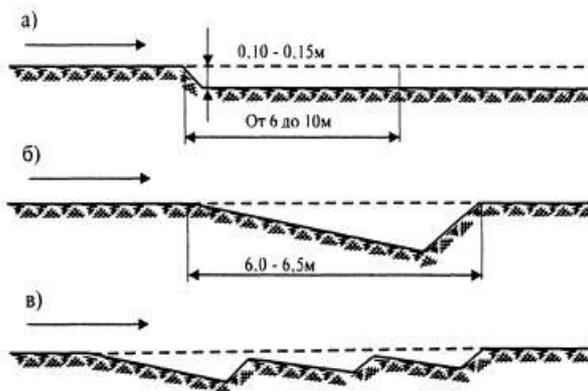
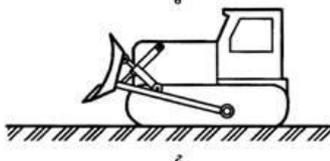
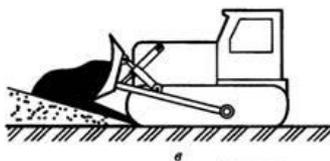
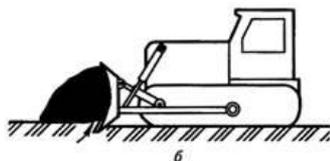
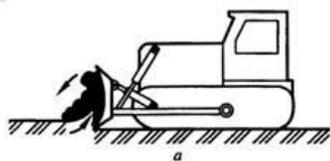


Определение силы резания грунта бульдозером



*Старший преподаватель
Сычугов С.В.*

- 
- **Бульдозер** - самоходная землеройная машина, представляющая собой гусеничный или колёсный трактор, тягач с навесным рабочим органом - криволинейным в сечении отвалом (щитом), расположенным вне базы ходовой части машины. Служит для послойного копания, планировки и перемещения (на расстояние 10 - 200 метров) грунтов, полезных ископаемых, дорожно-строительных и других материалов при строительстве и ремонте дорог, каналов, гидротехнических и тому подобных сооружений.
 - Также бульдозер применяется при разработке россыпей, на отвалах, при рекультивации, в качестве вспомогательной машины на карьерах. Кроме того, бульдозер используют при строительстве и ремонте дорог, а также как толкач (например, при заполнении самоходных и прицепных скреперов).
 - **Цель работы:** рассчитать максимальную силу резания P грунта ножом бульдозера при отделении стружки заданной толщины.
 - **Содержание работы**
 1. - Для расчета необходимо вычертить схемы положения отвала с обозначением размеров среза (рис. 1); приложения среднемаксимальных сил резания (рис. 2);
 - Выбирая формулу для расчета, следует иметь в виду, что режущая часть отвала бульдозера - простой нож, отделяющий стружку.
- Поэтому расчет ведут по формуле: $P = \varphi \cdot m_{св} \cdot L \cdot h + 2 \cdot m_{бок} \cdot h^2 + 2 \cdot m_{бок.ср} \cdot h$



Известен только один параметр крепости грунта $m_{св}$, для расчета следует использовать формулу ориентировочного определения силы резания, которая для простого ножа с затупленной режущей кромкой приобретает вид:

$$P = P_{св} + 2 \cdot P_{бок} + 2 \cdot P_{бок.ср} + P_{зат}$$

В вышеуказанных формулах

- $P_{св}$ – сила, возникающая при срезе грунта в центре отвала, кН;
- $P_{бок}$ – сила, возникающая в боковых расширениях среза грунта, кН;
- $P_{бок.ср.}$ – боковая сила, возникающая при срезе на заданную глубину, кН;
- $P_{зат.}$ – усилие, возникающее на режущей кромке ножа (на всю длину и высоту срезки грунта), кН.

• **Найдём каждое из усилий:**

- $P_{св} = m_{св} \times F_{св} \times \varphi$, где $F_{св} = L \times h$ – площадь центральной части среза;
- $P_{бок} = m_{св} \times F_{бок} \times \eta_{бок}$, где $F_{бок} = k_{бок}^2 \cdot h^2 \cdot ctg \gamma$ – площадь боковых расширений среза; При боковом срезе k подбираем по табл. 1.5.
- $P_{бок.ср.} = m_{св} \times L_{бок.ср} \times \eta_{бок.ср.}$, где $L_{бок.ср.} = 2 \cdot h \cdot (1 - k_{энерг})$ – длина среза боковыми ребрами ножа;
- $P_{зат.} = m_{св} \times L_{зат.} \times \eta_{зат.} \times h$, где $L_{зат.} = L$ – длина затупленной режущей кромки (т.е. длина отвала).

• Таким образом, формула имеет вид:

$$P = m_{св} \cdot (\varphi \cdot F_{св} + \eta_{бок} \cdot F_{бок} + \eta_{бок.ср.} \cdot L_{бок.ср.} + \eta_{зат.} \cdot L_{зат.} \cdot h)$$

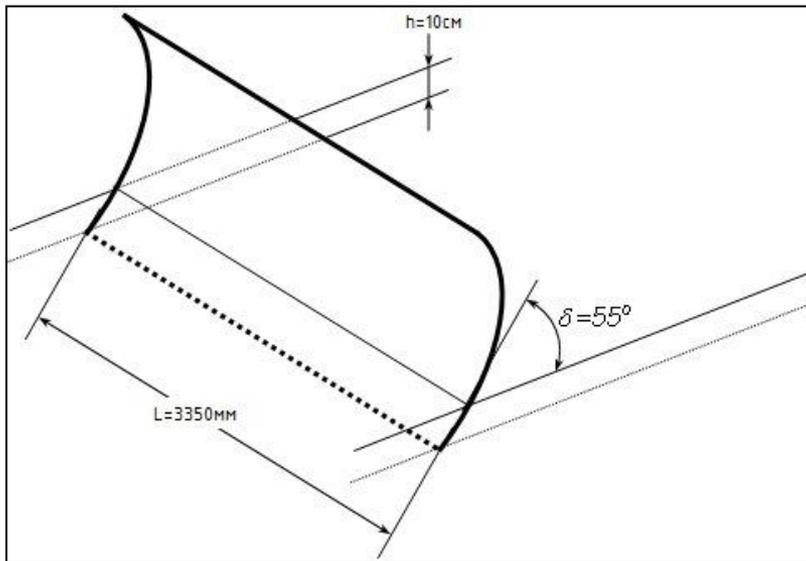


Рис. 1. Схема положения отвала и размеры среза

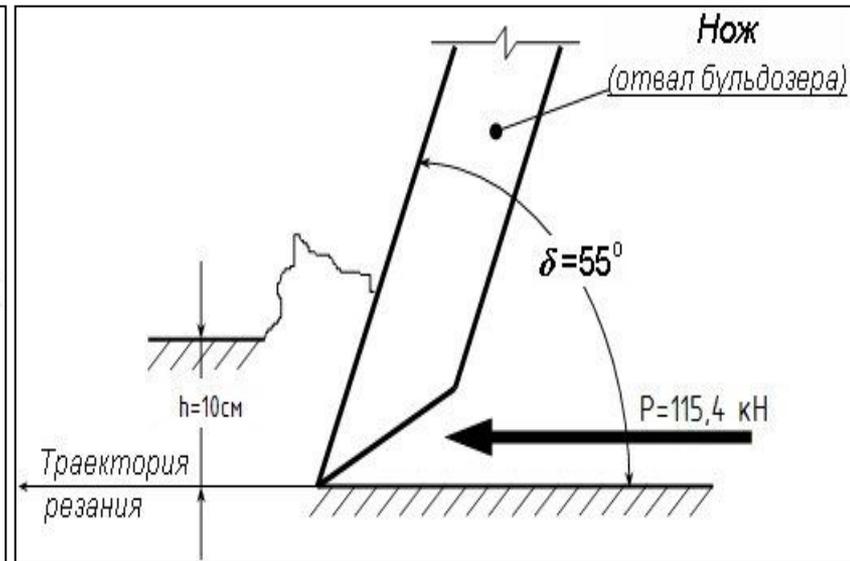


Рис. 2. Схема приложения силы резания

Таблица 1.1. Коэффициент влияния угла резания

Угол резания δ , град	Коэффициент ϕ
37,5	0,78
40	0,85
42,5	0,93
45	1,00
47,5	1,13
50	1,35
52,5	1,53
55	1,70
57,5	1,88
60	2,05

- Коэффициент влияния угла резания ϕ принимаем по табл. 1.1 в соответствии с величиной угла резания δ (табл. 1.2). Числовые значения коэффициентов $\eta_{бок}$ и $\eta_{бок.ср}$ принимаем:
 - для грунтов 1-й и 2-й категории – 0,36 и 13,7;
 - для грунтов 3-й и 4-й категории – 0,52 и 76,0 соответственно
- Значение коэффициента $\eta_{зат}$ определяем по табл. 1.3 в соответствии с радиусом затупления ножа R по заданию.

Таблица 1.2. Технические характеристики бульдозеров

Показатели	ДЗ-37	ДЗ-29	ДЗ-54С	ДЗ-27С	ДЗ-9Б
Длина отвала, L , мм	2000	2520	3200	3200	3350
Высота отвала, H , мм	650	800	1200	1300	1380
Угол резания, δ , град	55	55	50-60	50-60	50-60
Тип отвала	<i>Н е п о в о р о т н ы й</i>				
Управление	<i>Г и д р а в л и ч е с к о е</i>				<i>К а н а т н</i>
Тип тягача	<i>К о л е с н ы й</i>	<i>Г у с е н и ч н ы й</i>			
Марка тягача	МТЗ-52	<i>T-74</i>	<i>T-100M</i>	<i>T-130</i>	<i>T-180</i>
Мощность, $N_{об}$, л.с.	55	75	108	140	180
Скорость на передачах, V , км/ч:					
1-й	1.56	4.51	2.36	3.17	2.86
2-й	2.65	5.32	3.78	3.77	4.62
3-й	5.60	6.53	4.51	4.39	6.37
4-й	6.85	8.01	6.45	5.22	8.66
5-й	8.15	9.46	10.13	6.37	11.96
Тяговое усилие на передачах, T , кН					
1-й	18	33,5	100	100	140
2-й	16	27,6	60	77	79
3-й	14	21,6	50	65	57
4-й	13	18,2	32	53	40
5-й	11,5	14,1	20	42	26
Масса оборудования бульдозера, кг	450	850	1780	1910	2855
Масса всего бульдозера, кг	3300	6370	13780	15710	17855

- В случае отсутствия в табл. 1.3 нужной толщины среза h , величину $\eta_{зам}/R$ определяем, применив линейную интерполяцию (см. рис. 3).

Таблица 1.3. К определению коэффициента, характеризующего влияние затупления режущей кромки

Глубина резания h , см	Отношение $\eta_{зат}/R$
1	0,240
2	0,158
3	0,127
4	0,109
5	0,096
10	0,072
15	0,061
20	0,054
25	0,049
30	0,045
35	0,042
40	0,040

- Чтобы найти промежуточное значение методом линейной интерполяции необходимо:

6000	15.5
6378	?
8000	19.2

$$? = 15.5 + \frac{(6378 - 6000)}{8000 - 6000} * \frac{(19.2 - 15.5)}{1} = 16.1993$$

Порядок выполнения работы

- Вычертить расчетные схемы (рис. 1, 2). На схемах указать размеры и величины по заданию (табл. 1.4).
- Написать общую расчетную формулу с объяснением составляющих ее величин.
- Определить числовые значения величин, входящих в расчетную формулу.
- Вычислить среднемаксимальную силу резания P .
- Законченная работа с приложением необходимых схем сдается преподавателю. *(Если полученное усилие резания P больше тягового усилия бульдозера T_1 на 1-й передаче ($P > T_1$), определить возможную толщину среза грунта h , принимая тяговое усилие на 1-й передаче за максимальную силу резания ($T_1 = P$)).*

Таблица 1.4. Исходные данные

Вариант	Марка бульдозера	Толщина среза, h , см	$m_{св}$, $H/см^2$	Радиус затупл-я R , мм	Грунт	Кат-я грунта
1	ДЗ-37	9	15	3	Тяжелый суглинок	2
2	ДЗ-37	10	12	5	Глина	3
3	ДЗ-37	11	10	4	Суглинок	2
4	ДЗ-37	12	7	3	Лессовидный суглинок	2
5	ДЗ-37	13	5	2	Песок мелкозернистый белый	1
6	ДЗ-29	10	12	5	Тяжелый суглинок	2
7	ДЗ-29	12	11	4	Глина	3
8	ДЗ-29	13	10	4	Суглинок	2
9	ДЗ-29	14	7	3	Лессовидный суглинок	2
10	ДЗ-29	15	5	2	Песок среднезернистый	1
11	ДЗ-54С	10	16	4	Аргиллит	3
12	ДЗ-54С	12	14	5	Глина	3
13	ДЗ-54С	14	12	4	Глина ябл-зеленая комковая	3
14	ДЗ-54С	16	10	3	Суглинок	2
15	ДЗ-54С	18	8	2	Лессовидный суглинок	2
16	ДЗ-27С	9	15	5	Серо-зеленая мергельная глина	3
17	ДЗ-27С	11	13	4	Глина	3
18	ДЗ-27С	13	11	3	Тяжелый суглинок	2
19	ДЗ-27С	15	9	3	Суглинок	2
20	ДЗ-27С	17	7	2	Лессовидный суглинок	2
21	ДЗ-9Б	10	16	5	Серо-зелен. мергельная глина	3
22	ДЗ-9Б	12	14	4	Тяжелый суглинок	2
23	ДЗ-9Б	14	12	4	Глина ябл-зеленая комковая	3
24	ДЗ-9Б	16	10	3	Суглинок	2
25	ДЗ-9Б	18	8	2	Лессовидный суглинок	2
26	ДЗ-27С	9	15	5	Серо-зеленая мергельная глина	3
27	ДЗ-27С	11	13	4	Глина	3
28	ДЗ-27С	13	11	3	Тяжелый суглинок	2
29	ДЗ-27С	15	9	3	Суглинок	2
30	ДЗ-27С	17	7	2	Лессовидный суглинок	2

Пример расчёта:

- В качестве примера вычислим среднемаксимальную силу резания P ножом бульдозера ДЗ-27С при отделении стружки толщиной $h = 12$ см на глине (грунт 3-й категории), крепость которой составляет $m_{св} = 11$ Н/см². Режущая кромка ножа затуплена с радиусом $R = 2$ мм.
- Согласно технической характеристике бульдозера ДЗ-27С (табл. 1.2) ширина среза (длина отвала) $L=3200$ мм, а угол резания принимаем $\delta = 55^\circ$.
- Значение коэффициента влияния угла резания ϕ при угле резания $\delta = 55^\circ$ равно 1,7 (табл. 1.1).
- Для грунта 3-й категории (глина) коэффициент $\eta_{бок}$ принимаем равным 0,52; а коэффициент $\eta_{бок.ср} = 76,0$
- Значение коэффициента $\eta_{зат}$ (влияние затупления режущей кромки) определяем по табл. 1.3. Для $R = 2$ мм и $h = 12$ см величина отношения $\eta_{зат}/R$ не определена, поэтому используем линейную интерполяцию.
- Из табл. 1.3 известны величины $\eta_{зат}/R$ для «соседних» (по сравнению с заданной) $h = 10$ см и $h = 15$ см - 0,072 и 0,061 соответственно (см. график на рис. 3)

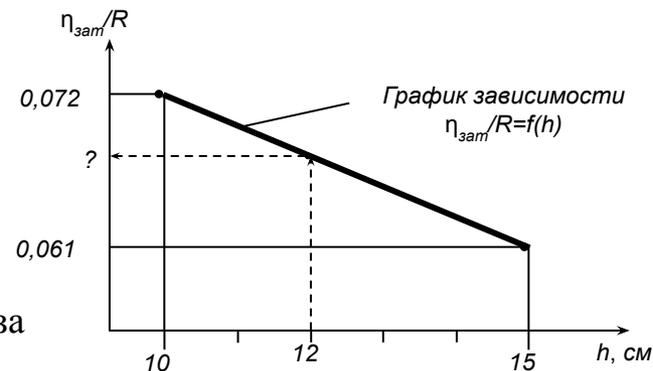


Рис. 3. К определению $\eta_{зат}$ для заданной толщины среза

- При достаточно точных построениях можно определить $\eta_{зам}/R$ графически, но более точный результат дает аналитический способ.

При изменении толщины среза h на 1 см соответствующее изменение отношения $\eta_{зам}/R$ будет равно:

$$\Delta_{1см} = \frac{0,072 - 0,061}{5} = 0,0022$$

- Теперь для того, чтобы определить $\eta_{зам}^5/R$ для $h = 12$ см, запишем:
 $0,072 - 2 \cdot \Delta_{1см} = 0,072 - 2 \cdot 0,0022 = 0,0676$ (интерполяция слева, т.е. от значения, соответствующего толщине среза 10 см), или
 $0,061 + 3 \cdot \Delta_{1см} = 0,061 + 3 \cdot 0,0022 = 0,0676$ (интерполяция справа).
 Результат, как и следовало ожидать, одинаков, т.е. .
- Теперь определяем коэффициент :
 $\eta_{зам} = 0,0676 \cdot R = 0,0676 \cdot 2 = 0,1352$
- Коэффициент $k_{бок}$ по табл. 1.5 принимаем равным 0,85, а угол $\gamma = 36^\circ$.

Таблица 1.5. Характеристика зоны разрушения грунта

Грунт	Категория грунта	Коэффициент $k_{бок}$	Угол γ , град	Коэффициент энергоемкости, $k_э$
Песок мелкозернистый белый	1	0.73	46	0.92
Песок среднезернистый	1	0.70	40	0.80
Суглинок	2	0.78	30	0.87
Тяжелый суглинок	2	0.85	40	0.89
Лессовидный суглинок	2	0.73	45	0.88
Тяжелый суглинок нарушенного строения	2	0.70	45	0.85
Серо-зеленая мергельная глина	3	0.83	35	0.82
Глина	3	0.85	36	0.90
Глина яблочно-зеленая комковатая	3	0.80	35	0.94
Аргиллит	3	0.90	30	0.95

- Подсчитаем значения составляющих для расчетной формулы: $F_{св} = L \cdot h$

$$F_{св} = 12 \cdot 320 = 3840 \text{ см}^2$$

$$F_{бок} = k_{бок}^2 \cdot h^2 \cdot ctg \gamma$$

$$F_{бок} = 0,85^2 \cdot 12^2 \cdot ctg 36^\circ = 143,20 \text{ см}^2$$

$$L_{бок.ср} = 2 \cdot 12 \cdot (1 - 0,85) = 3,6 \text{ см}$$

$$L_{зат} = L = 320 \text{ см}$$

$$L_{бок.ср} = 2 \cdot h \cdot (1 - k_{бок})$$

- Подставив значения всех параметров в расчетную формулу (1.4), получим (с округлением до целых):

$$P = 11 \cdot (1,7 \cdot 3840 + 0,52 \cdot 143,2 + 76 \cdot 3,6 + 0,1352 \cdot 320 \cdot 12) = 81,350 \text{ кН}$$

- При этом составляющие будут равны:

$$P_{св} = 11 \cdot 1,7 \cdot 3840 = 71,810 \text{ кН};$$

$$P_{бок} = 11 \cdot 0,52 \cdot 143,2 = 0,820 \text{ кН};$$

$$P_{бок.ср} = 11 \cdot 76 \cdot 3,6 = 3,010 \text{ кН};$$

$$P_{зат} = 11 \cdot 0,1352 \cdot 320 \cdot 12 = 5,710 \text{ кН}.$$

- Из расчета следует, что при заданных размерах среза, соответствующих бульдозеру ДЗ-27С, основная часть сопротивления приходится на лобовое сопротивление $P_{св}$ и сопротивление от затупления ножа $P_{зат}$, а резание грунта может быть выполнено только на 1-й передаче базового трактора.

Возможен вариант, когда в результате расчета усилие резания P получается больше тягового усилия бульдозера T_1 на 1-й передаче. Обычно это происходит, когда толщина среза завышена для применяемого бульдозера, или разрабатывается слишком тяжелый грунт. Нормальная работа бульдозера с заданной толщиной среза h в этом случае невозможна, и приходится решать обратную задачу, т.е. определять возможную толщину среза грунта h , принимая тяговое усилие на 1-й передаче за максимальную силу резания ($P = T_1$).

Расчетное усилие резания грунта $P = 81,350$ кН не превышает тяговое усилие бульдозера на 1-й передаче ($T_1 = 100$ кН).

Для определения возможной толщины среза h подставляем в расчетную формулу все значения всех величин, кроме h .

$$T_1 = m_{cv} (\varphi Lh + \eta_{бок} k^2_{бок} h^2 \cdot ctg\gamma + \eta_{бок,ср} 2h(1 - k_{бок}) + \eta_{зам} \cdot L_{зам} \cdot h)$$

$$T_1 = 11 \cdot (1,7 \cdot 320 \cdot h + 0,52 \cdot 0,85^2 \cdot h^2 \cdot ctg36^\circ + 76 \cdot 2 \cdot h \cdot (1 - 0,85) + 0,1352 \cdot 320 \cdot h)$$

после подстановки T_1 получим:

$$T_1 = 0,517 \cdot h^2 + 6050 \cdot h,$$

$$0,517 \cdot h^2 + 6050 \cdot h - 100000 = 0$$

Полученное квадратное уравнение решаем относительно неизвестной h :

$$D = b^2 - 4ac = 6067$$

$$h_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$



$h_1 = 11718,8$ см, а $h_2 = 16,5$ см. Анализ показывает, что смысл имеет только второй корень, т.е. возможная толщина среза h при заданных условиях может составить примерно 16,5 см.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите методы расчета сил резания.
2. Какие величины входят в расчетные формулы определения сил резания?
3. Какое влияние оказывает затупление и износ ножей отвала на силу резания?
4. Какое влияние оказывает угол резания на сопротивление?
5. Что такое лобовое сопротивление резанию?
6. Что означает если полученное усилие резания больше тягового усилия бульдозера на 1-й передаче?
7. Как определить возможную толщину среза грунта?
8. Какая составляющая в суммарной силе резания наибольшая?