

Лесковец И. В., Берестов Е. И., Смоляр А.П.

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ ОТВАЛА БУЛЬДОЗЕРА НА
ВЕЛИЧИНЫ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОПАНИЮ**

Белорусско-Российский университет

Республика Беларусь, Могилев, пр-т. Мира, 43, 212000

Leskovets I. V., Berstov E.I., Smoliar A. P.

**INFLUENCE PROFILE SETTINGS DOZER BLADE ON THE VALUE OF
RESISTING DIGGING FORCE**

Belorussian-Russian University

Belarus, Mogilev, Mira street, 43, 212000

Аннотация. В статье отмечается, что существующая методика определения сил сопротивления копанью отвалом бульдозера не позволяет учитывать влияние параметров профиля отвала на величины этих сил. Отмечено, что современные научные исследования позволяют теоретическим путем установить степень влияния на величины сил сопротивления копанью параметров профиля отвала. Представлена установка, позволяющая проводить эксперименты для определения сил сопротивления копанью отвалом бульдозера, описание методики проведения экспериментов, результаты экспериментов.

Ключевые слова: бульдозер, рабочее оборудование, отвал, силы сопротивления копанью, экспериментальные исследования.

Abstract. The current method of determining the resistance forces digging dozer blade does not allow to take into account the effect of the parameters of the heap profile on the magnitude of these forces. It is noted that modern scientific studies theoretically establish the degree of impact on the value of the resistance forces digging blade profile settings. Presented installation, allowing to carry out

experiments to determine the resistance forces digging dozer blade, describing the methodology of the experiments, the results of experiments.

Key words: bulldozer working equipment, blade, drag force digging, experimental research

В области проектирования машин для земляных работ в настоящее время сложились представления о том, что в процессе разработки грунта преодолевается комплексное сопротивление, называемое сопротивлением копания. Вскрыты закономерности в определении сопротивлений копания [1, 2, 3], как суммы составляющих трех основных частей: сопротивление грунта резанию; сопротивление перемещению призмы волочения; сопротивление заполнению ковша (у ковшовых машин) либо сопротивление перемещению стружки вверх по отвалу, либо сквозь призму волочения (для машин с отвальным рабочим органом). Хотя эта методика подвергалась критике многими учеными, но и в настоящее время она используется для практических расчетов.

Многими исследователями, в частности Н.Г. Домбровским [4], Ю.А. Ветровым [5] установлено, что сила сопротивления резанию является наиболее весомой составляющей и составляет от 42 до 83% в сумме сопротивлений копания при применении различных рабочих органов в различных условиях. На основании экспериментальных данных рекомендуется устанавливать значения сил сопротивления резанию и сопротивления копания, предлагается применение расчетных зависимостей с учетом коэффициента, характеризующего удельное сопротивление копания. Отмечается, важность уточнения определения величин и закономерностей сил сопротивления резанию и копания, что должно в наибольшей степени способствовать усовершенствованию и повышению эффективности землеройных машин.

Цели и задачи исследования.

Целью экспериментальных исследований является получение численных значений сил сопротивления копания, сопоставление их с теоретическими.

Определение влияния параметров отвала на величины сил сопротивления копанию на разных стадиях копания.

В задачи экспериментальных исследований входит:

– получение численных значений горизонтальной, составляющей сопротивления копанию, а также интенсивности нарастания сил по мере роста призмы волочения для отвалов с разными параметрами;

– сопоставление полученных экспериментальных результатов с теоретическими;

– оценка адекватности теоретических исследований.

Экспериментальная установка для экспериментальных исследований.

Эксперименты проводились в грунтовом канале Белорусско-Российского университета. Экспериментальная установка состоит из следующих основных частей: грунтового канала, тележки с рабочим органом, тяговой станции, тензоизмерительного комплекта.

Грунтовый канал представляет собой емкость прямоугольного сечения высотой 1,2 м, шириной 1 м и длиной 8 м, заполненную песком. В верхней части канала имеются направляющие для установки тензометрической тележки.

Привод тележки осуществляется от электрического двигателя, через редуктор с переменными передаточными числами посредством канатной тяги. Скорость передвижения тележки изменяется переключением редуктора.

Внешняя рама 1 установлена на опорных роликах 7 и подсоединена к тяговой станции. На этой раме установлена универсальная рама 5, к которой прикреплен отвал 6. Для возможности регулирования толщины стружки на раме 1 дополнительно установлен редуктор 8, кинематически связанный с внутренней рамой 2. Привод редуктора осуществляется шкивом.

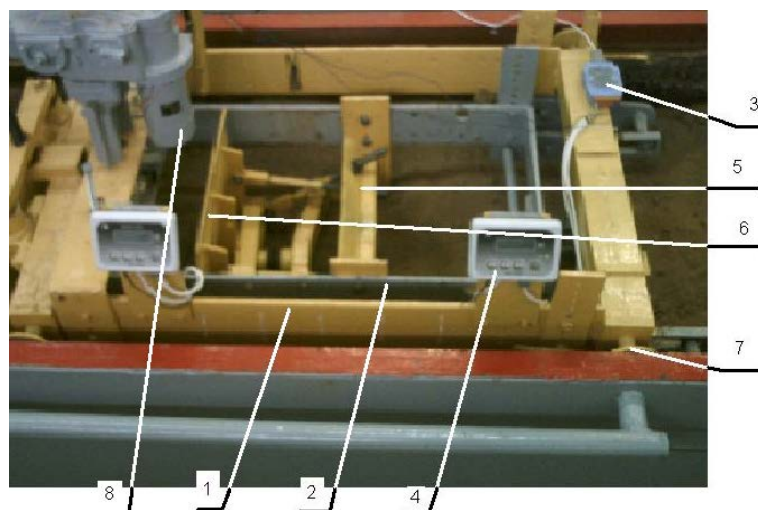


Рис. 1. Общий вид тензометрической тележки: 1– внешняя рама; 2 – внутренняя рама; 3 - тензопреобразователь, 4 – табло регистрации усилий, 5 – универсальная рама; 6 – отвал; 7 – опорные ролики; 8 – редуктор;

На рис. 2 изображена схема профиля отвала с параметрами, оказывающими влияние на силы сопротивления копанью.

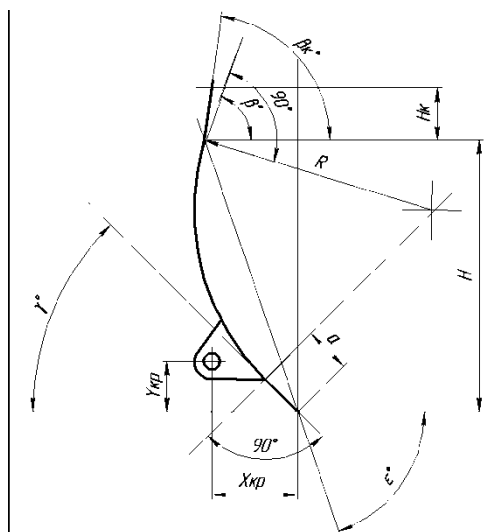


Рис. 2 – Параметры профиля отвала

В таблице 1 представлены значения параметров профиля отвала для бульдозера БЕЛАРСУС 1502 и рекомендованные в результате проведения теоретических расчетов.

Параметры профилей отвалов

Наименование параметра	Ед. изм.	«БЕЛА РУС» 1502	Рекомендуемые
Высота отвала (Н)	м	1,028	1,028
Высота козырька (Нк)	м	0,205	0,205
Точка крепления (Хкр)	м	0,446	0,446
Точка крепления (Укр)	м	0,254	0,254
Длина прямолинейной части отвала (а)	м	0,323	0,200
Ширина отвала (В)	м	3,630	3,630
Радиус кривизны отвала (м)	м	0,783	1,2
β	град	69,8	69,8
β_K	град	95	95
ε	град	71,3	71
γ	град	50	53

Для проведения экспериментальных исследований изготовлены модели отвалов с параметрами, применяемыми на практике и рекомендованными в результате теоретических исследований. Фотографии моделей отвалов представлены на рис. 3. Масштабный коэффициент для физических моделей равен 1:7.



Рис. 3. Модели отвалов с универсальной рамой

Запись результатов измерения осуществляется следующим образом. Сигналы с тензодатчика поступают на тензометрический преобразователь 3 и далее через разъем RS 232 порта на персональный компьютер, на котором установлена программа обработки поступающих цифровых сигналов. Программа обеспечивает конвертацию поступающего цифрового сигнала в файл формата MSExcel с записью числовых значений времени и усилия на датчике в момент его опроса. Таким образом, имеется возможность сохранения на диске компьютера файлов со значениями времени и горизонтальной составляющей процесса копания грунта.



Рис. 4. Тензометрическая тележка с компьютером

Методика проведения лабораторных исследований.

При лабораторных исследованиях использовалась методика физического моделирования, разработанная В.И. Баловневым [7, 8].

Методика использовалась с целью сокращения времени подготовки опытов и обеспечения по возможности идентичных условий при их повторении.

Для сопоставления экспериментальных результатов с теоретическими, полученными с помощью программного обеспечения, использовались реальные физико-механические свойства грунта в канале и реальные размеры исследуемой модели.

Основой для получения модели грунта служил мелкозернистый речной песок, размер фракций которого не превышал 2 мм. Предварительно увлажненный песок перекапывался и уплотнялся с помощью электрической виброплощадки. В качестве показателя, определяющего подобие грунта по прочности, использовалось число ударов ударника ДорНИИ. Параметры ударника были изменены в соответствии с рекомендациями, изложенными в работах [9, 7]. Модель грунта приготавливалась на 6 ударов, что соответствует II категории грунта.

Опыты проводились в следующем порядке. Перед уплотнением грунта выглаживалась горизонтальная площадка с уровнем, соответствующем началу копания. Исследуемый отвал устанавливался в тензометрическую тележку. Производилось заглубление отвала на фиксированную величину. Далее включалась измерительная аппаратура, и осуществлялся процесс копания грунта, результаты которого фиксировались оборудованием.

Перед проведением эксперимента с помощью сдвигового прибора замерялись сцепление и угол внутреннего трения, характеризующие свойства исследуемой категории грунта. Дополнительно измерялись угол внешнего трения, плотность грунта ненарушенной структуры, плотность разрыхленного грунта [10]. Результаты этих измерений представлены в таблице 2.

С целью исключения влияния систематических погрешностей, неконтролируемым образом изменяющихся во времени, а также для исключения влияния параметров, изменяющихся неконтролируемым образом в пространстве, например, неоднородность грунта при некачественном уплотнении, при проведении экспериментом проводилась рандомизация опытов.

Таблица 2

Физико-механические свойства грунта.

Наименование показателей	Категория грунта
	II
Число ударов плотномера	6

Сцепление грунта c , кПа	4
Остаточное сцепление грунта c_p , кПа	0,45
Угол внутреннего (грунта по грунту) трения ρ , град	28
Угол внешнего (грунта по металлу) трения ω , град	25
Плотность грунта на ноже ρ_r , т/м ³	1,7

При последующей обработке результатов определялись максимальные и средние значения горизонтальной составляющей сопротивления копанию и соответствующие значения удельного сопротивления резанию.

На рис. 6 представлена совмещенная осциллограмма для режимов копания моделями отвала БЕЛАРУС 1502 и отвала с рекомендуемыми параметрами с толщиной стружки 2 см в процессе набора полной призмы волочения.

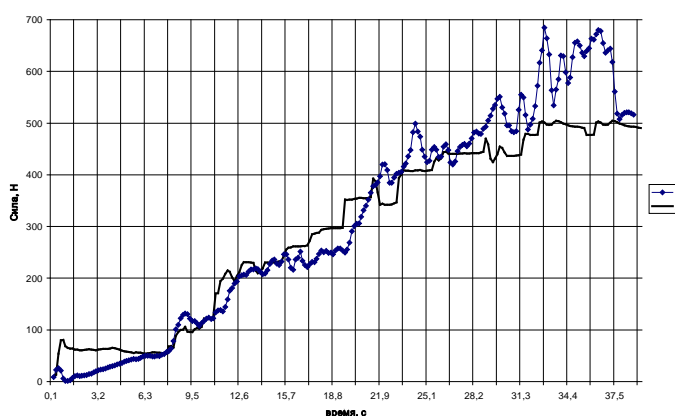


Рис. 5. Осциллограмма сил сопротивления копанию при толщине стружки 2 см; 1 – модель отвала БЕЛАРУС 1502; 2 – модель отвала с рекомендуемыми параметрами

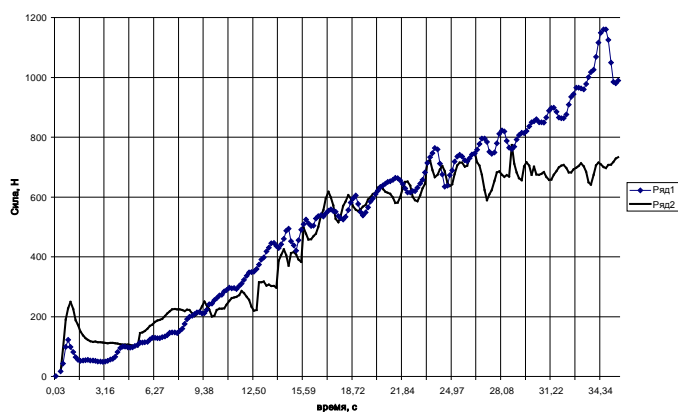


Рис. 6. Осциллограмма сил сопротивления копанию при толщине стружки 4 см; 1 – модель отвала «БЕЛАРУС» 1502; 2 – модель отвала с рекомендуемыми параметрами

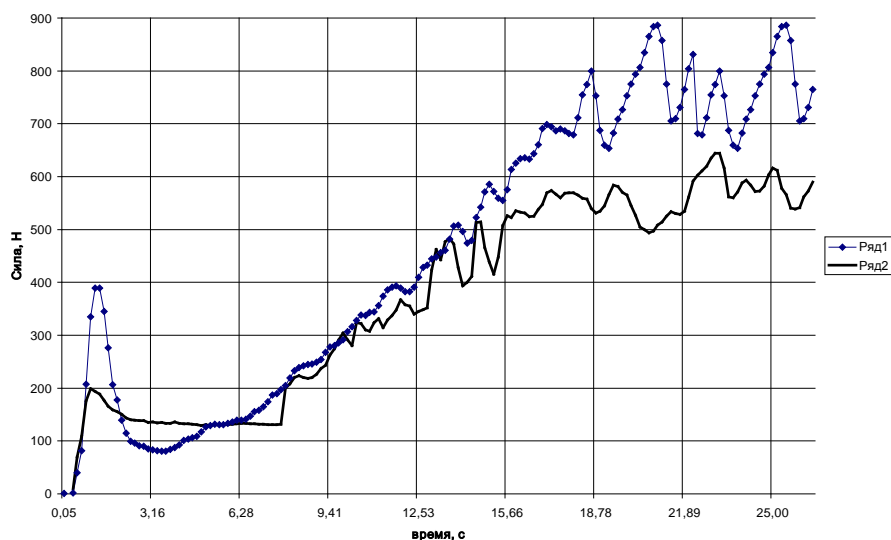


Рис. 7. Осциллограмма сил сопротивления копанию при толщине стружки 3 см; 1 – модель отвала БЕЛАРУС 1502; 2 – модель отвала с рекомендуемыми параметрами

Процесс набора призмы волочения занимает обоими отвалами примерно одинаковое время. Этот процесс длится около 6 с. В дальнейшем, на протяжении набора призмы волочения практически до козырька отвала, рост сил сопротивления копанию она двух отвалах практически одинаков. На завершающей стадии набора призмы волочения, силы сопротивления копанию на отвале с рекомендуемыми параметрами изменяются с меньшими

величинами, чем на отвале «БЕЛАРУС» 1502. Аналогичные результаты получены во время проведения теоретических исследований.

Для определения необходимого числа опытов предварительно было проведено 10 опытов при одних и тех же условиях. По полученным средним значениям количества колебаний и математического ожидания разницы между соседними максимумами осуществлялась статистическая обработка. На основании результатов статистической обработки, использованием методики [11] определялось рекомендуемое количество опытов. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Статистические данные опытов

№ опыта	Количество колебаний	Математическое ожидание разницы между максимумами
1	15	33,3788
2	12	34,846
3	14	42,182
4	13	35,9464
5	11	41,0816
6	13	42,182
7	12	38,514
8	15	32,6452
9	14	41,4484
10	14	35,9464
Математическое ожидание	13,3	31,51
Среднеквадратичное отклонение	1,26	7,22
Коэффициент	9,47	22,9

вариации		
$\frac{K_{доп}}{K_{вар}}$	1,26	0,52
Необходимое количество опытов		5

Таким образом, для каждой из модели отвала с рекомендуемыми параметрами проводилось 5 опытов при разных толщинах стружки, с записью результатов измерений в файл и последующим статистическим анализом результатов.

Сопоставление экспериментальных и теоретических исследований.

Вследствие неизбежного рассеяния экспериментальных данных их обработка должна проводиться статистическими методами. Для каждого опыта из имеющихся значений составляющих сопротивления резанию определялось их среднее значение. После этого, по результатам всех опытов, проводимых при одних и тех же условиях, окончательно рассчитывалось среднее значение параметра, по которому и определялось расхождение с расчетным значением.

При сопоставлении экспериментальных результатов с теоретическими, определенными по разработанной методике, возможны их расхождения. Причинами расхождений являются:

- допущения, принятые в методике расчета и в расчетных схемах;
- неизбежные погрешности измерений при экспериментальных исследованиях;
- неизбежные погрешности при определении физико-механических свойств грунта.

Расхождения теоретических и экспериментальных значений для горизонтальной составляющей сопротивления резанию приведены в таблице 4. Результаты получены для первой категории грунта при толщине стружки 0,02 м, радиусе криволинейной части отвала 1,2 м, угле резания 53° , угле установки

отвала 71° , длине прямолинейной части отвала 0,2 м. Сопоставительный анализ представлен в таблице 4.

Таблица 4

Экспериментальные и теоретические результаты исследований.

№ опыта	Количество колебаний	Математическое ожидание разницы между максимумами	Среднее квадратичное отклонение
1	11	33,8	7,2
2	11	47,6	8,6
3	13	34,9	9,4
4	15	31,2	7,1
5	14	42,7	10,8
теоретический	14	35,6	9,5

Анализ результатов, приведенных в таблице 4, показывает, что значения математического ожидания разницы между пиками колебаний находится внутри диапазона тех же значений, полученных экспериментальным путем. Аналогичные результаты получены для среднего квадратичного отклонения.

Выводы

Экспериментальные исследования подтвердили результаты теоретических исследований, проведенных с помощью методик, разработанных авторами.

Накопленный экспериментальный материал, полученный при разных режимах работы, позволил провести сопоставительный анализ по параметрам, доступным инструментальному контролю.

Анализ показал, что разработанные теоретические положения, используемые для копания грунта отвалом бульдозера, адекватно отражают характер явлений, происходящих при этом виде копания грунта, и дают хорошую сходимость с экспериментальными результатами.

Наиболее существенное влияние на величины сил сопротивления копанью оказывает величина радиуса криволинейной части отвала. Увеличение радиуса на 40 % привело к снижению сил сопротивления копанью на завершающей стадии (при полной призме волочения) на 20 – 30% в зависимости от толщины стружки.

Значения радиуса криволинейной части профиля отвала бульдозера, получаемое при проектировании на основании методики [13] необходимо увеличивать на 30 - 40 %, если есть необходимость снижения сил сопротивления копанью, при разработке грунтов.

Литература:

1. Ветров, Ю. А. Расчеты сил резания и копания грунтов / Ю. А. Ветров. Киев : изд. Киев. ун-та. – 1965. – 123 с.
2. Дидух, Б. И. Упругопластическое деформирование грунтов / Б. И. Дидух. – М. : Изд-во ун-та дружбы народов, 1987. – 168 с.
3. Завьялов, А. М. Экспериментальные исследования процесса копания грунта неповоротным отвалом бульдозера / А. М. Завьялов, Т. Е. Болдовская // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 6. – С. 21–28.
4. Домбровский, Н. Г. Землеройные машины / Н. Г. Домбровский, С. А. Панкратов. – М. : Гостройиздат, 1961. – 321 с.
5. Ветров, Ю. А. Сопротивление грунтов резанию / Ю. А. Ветров. – Киев : изд. Киев. ун-та. – 1962. – 96 с.
6. Берестов, Е. И. Сопротивление грунтов резанию / Е. И. Берестов // Изв. Вузов. Строительство. –1997. – № 10. – С. 102–107.
7. Баловнев, В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В. И. Баловнев. – М. : Высш. шк., 1981. – 336 с.
8. Баловнев, В. И. Новые методы расчета сопротивлений резанию грунтов / В. И. Баловнев. – М. : Росвузиздат, 1963. – 95с.

9. Баловнев, В. И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно–строительных машин / В. И. Баловнев. – М. : Машиностроение, 1974. – 232 с.

10. Берестов, Е. И. Математическое моделирование динамических процессов при резании грунта / Е. И. Берестов // Совершенствование существующих и создание новых ресурсосберегающих технологий и оборудования в машиностроении, сварочном производстве и строительстве: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 3–5 мая 1991 г. / ММИ. – Могилев, 1991. – С. – 56–58.

11. Зеленин, А. Н. Физические основы теории резания грунтов / А. Н. Зеленин. – М. : АН СССР, 1950. – 187 с.

12. Зеленин, А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. – М. : Машиностроение, 1968. – 198 с.

13. Справочник конструктора дорожных машин / И. П. Бородачев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1973. – 504 с.

Работа отправлена: 20.04.2015г.

© Лесковец И.В.