

10. Большаков, В.И. Взаимосвязь структурной неоднородности термически упрочнённой арматуры с изменением твёрдости по сечению стержней /В.И. Большаков, В.А. Шерemet, А.О. Чайковская [и др.] // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – Вып. 36. – Ч. 1. – Днепропетровск: ПГА-СА, 2006. – С. 159–167.
11. Ефременко, В.Г. Структурные градиенты в стальных мелющих шарах, термоупрочнённых с прокатного нагрева / В.Г. Ефременко,

Ф.К. Ткаченко, С.О. Кузьмин, О.И. Труфанова, О.И. Бруй, Н.А. Калашников // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов [Электронный ресурс]. – 2009. – Т. 2. – Режим доступа: <http://www.nbu.gov.ua/portal/natura/smm/texts.html>.

Материал поступил в редакцию 07.10.10

#### MOISSEITCHIK E.A. Structural fittings stratification of low-carbon thermostrengthening steels

The structure of rebar production RUE BMZ. Shown that the reinforcing steel is rolled layered structure with 5 layers of coaxially arranged with different mechanical properties, and reinforcing bar can be regarded as kvazikompozitny rod with a layered structure. The values of microhardness of layers measured in the transverse and longitudinal sections of the same rod, differ among themselves. It is shown that the duration of heat treatment of valves in the flow of the camp should significantly affect the distribution of hardness in the surface layers, and in the deeper layers of this difference should be negligible. It is noted that changes in technology thermostrengthening can adjust the size, structure and mechanical characteristics of the layers of rebar.

УДК 021.87:658.512.01 1.56

Берестов Е.И., Лесковец И.В., Пеклин В.В.

### МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ КОПАНИЮ РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ БУЛЬДОЗЕРА

**Введение.** В строительном производстве бульдозеры применяются практически повсеместно, начиная с конца 19 века. Особенно широко бульдозеры применяются при строительстве и реконструкции автомобильных и железнодорожных путей сообщения. На протяжении чем ста лет проводятся исследования, посвященные разработке методик определения сил сопротивления копанью с целью их минимизации. Одной из основных проблем при определении сил сопротивления копанью является нестабильность параметров разрабатываемой среды. Значения параметров грунта, оказывающих влияние на величины сил сопротивления копанью, могут колебаться в широких пределах, в зависимости от внешних факторов, таких как температура, влажность, гранулометрический состав, условия залегания, процентное содержание различных включений. В настоящее время при определении сил сопротивления копанью используется несколько параметров грунта. Это – коэффициент удельного сопротивления резанию, коэффициент трения грунта по металлу, коэффициент трения грунта по грунту, удельная плотность [1, 2, 3]. Эти параметры используются при определении силы сопротивления резанию грунта по формуле

$$W_1 = kbh, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент удельного сопротивления резанию, принимаемый в зависимости от категории грунта и типа рабочего органа,  $b$  – ширина резания,  $h$  – толщина вырезаемой стружки.

Для определения силы сопротивления перемещению призмы волочения используется зависимость

$$W_2 = V\delta_p g \mu_2, \quad (2)$$

где  $V$  – объем призмы волочения,  $\delta_p$  – плотность разрыхленного грунта,  $g$  – ускорение свободного падения,  $\mu_2$  – коэффициент трения грунта по грунту.

Сила сопротивления перемещению грунта вверх по отвалу определяется по формуле:

$$W_3 = V\delta_p \mu_1 \cos^2 \gamma, \quad (3)$$

где  $\mu_1$  – коэффициент трения грунта по металлу,  $\gamma$  – угол резания.

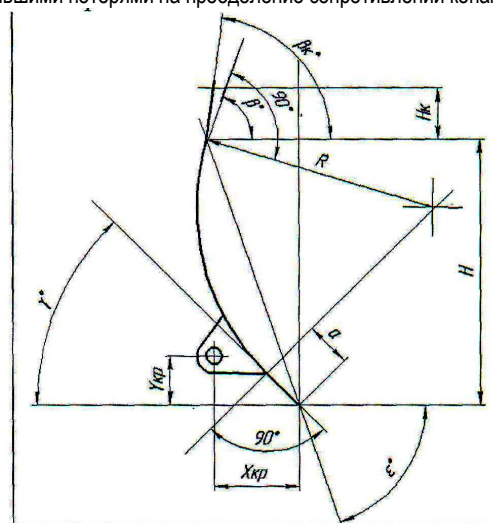
Общее сопротивление копанью в данном случае определяется

как сумма:

$$W_K = W_1 + W_2 + W_3. \quad (4)$$

Представленная методика не позволяет учитывать целый ряд параметров не только грунта, но и отвала.

В соответствии с методикой построения отвала, которая разработана на основании ряда экспериментальных исследований [1], отвал имеет параметры, представленные на рис. 1. Из рисунка видно, что отвал имеет ряд конструктивных параметров, позволяющих создать его конфигурацию, обеспечивающую высокие универсальные свойства, позволяющие эксплуатировать его на различных грунтах с наименьшими потерями на преодоление сопротивлений копанью.



$H$  – высота отвала,  $H_K$  – высота козырька отвала,  $\gamma^0$  – угол резания,  $\epsilon^0$  – угол установки отвала,  $\beta^0$  – угол опрокидывания,  $\beta_K^0$  – угол установки козырька,  $a$  – длина ножевой части,  $X_{KP}$ ,  $Y_{KP}$  – соответственно расстояния от точки крепления на раме до начала ножевой части

**Берестов Евгений Иванович**, д.т.н., профессор кафедры «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование» Белорусско-Российского университета.

**Лесковец Игорь Владимирович**, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Строительные, дорожные, подъемно-транспортные машины и оборудование» Белорусско-Российского университета.

Беларусь, 212005, г. Могилев, пр. Мира, 43.

**Пеклин Валерий Валентинович**, первый заместитель главного конструктора подземной и строительной техники Научно-технического центра карьерной и шахтной техники ОАО «Белорусский автомобильный завод».

Беларусь, 212601, г. Могилев, пр. Витебский, 5.

Рис. 1. Схема отвала

Понятно, что формулы 1, 2, 3 и 4 не позволяют учитывать эти параметры при определении сил сопротивления копанью. Многие авторы уделяли значительное внимание исследованиям в данной области, однако результаты их работ не нашли широкого применения при проектировании отвалов.

Авторами данной статьи предлагается методика определения характеристик копания грунта с учетом максимального количества параметров грунта и отвала, оказывающих наиболее существенное влияние на силы сопротивления копанью [4].

Свойства грунта предлагается учитывать с помощью следующих параметров: число ударов плотномер ДорНИИ, предназначенного для определения категории грунта, категория грунта (для разработки бульдозерным оборудованием изменяется от 1 до 3 и зависит от числа ударов плотномер ДорНИИ), плотность ( $\tau/\text{м}^3$ ), коэффициент разрыхления, удельное сцепление (кПа), удельное остаточное сцепление (кПа), угол внутреннего трения (град.), угол трения грунта по металлу (град.), объемный коэффициент жесткости ( $\text{Н/м}^3$ ).

Суть предлагаемой методики [5] заключается в определении угла сдвига  $\varphi$ , рис. 2, при возникновении нормальных и касательных напряжений, обусловленных продвижением отвала в грунте. В методике используется плоская модель, движение отвала рассматривается в плоскости XOY.

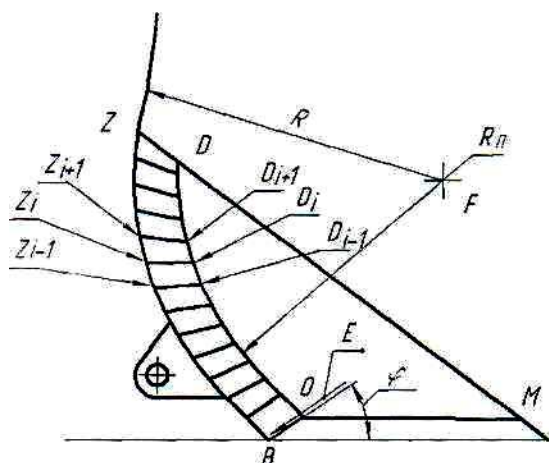


Рис. 2. Геометрическая схема элементов грунта и отвала

Рассматривается заглубленный в грунт отвал с призмой волочения. Величина заглубления отвала определяется разностью координат точек O и B по оси абсцисс. Призма волочения условно разбивается на подвижную и неподвижную части. Подвижная часть формирует поток грунта OBZD, неподвижная часть находится между точками ODM. Подвижная часть разбивается на сегменты  $Z_i, Z_{i+1}, D_i, D_{i+1}$ . Каждый сегмент взаимодействует с неподвижным участком, отвалом и верхним и нижним соседними участками подвижной части потока. Первый сегмент, отделившийся от грунта в естественном залегании, и неподвижная часть призмы волочения воздействуют на разрушаемый материал и совместно с отвалом, создающим нормальные и касательные напряжения, формируют угол сдвига. Величина этого угла определяет площадь площадки скольжения. В каждый анализируемый момент времени, в зависимости от площади площадки скольжения, определяется усилие сопротивления резанию. Усилия сопротивления перемещению подвижной и неподвижной частей призмы волочения определяются с учетом массы грунта и сил трения в местах взаимных перемещений анализируемых элементов. Представленная методика реализована на ЭВМ в виде программного обеспечения и позволяет проводить уточненные расчеты с учетом максимального количества параметров анализируемых элементов.

**Теоретические исследования.** С использованием представленной методики проводились теоретические расчеты по определению сил сопротивления копанью для рабочего оборудования буль-

дозера специального карьерного МоА3-40489. На предварительной стадии расчетов приняты параметры отвала, приближенные к параметрам анализируемой машины. В соответствии с рис. 1 параметры отвала приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры отвала

Наименование параметра	значение
Высота отвала ( $H$ ), м	0,8
Высота козырька ( $H_K$ ), м	0,5
Точка крепления ( $X_{KP}$ ), м	0,476
Точка крепления ( $Y_{KP}$ ), м	0,476
Длина прямолинейной части отвала ( $a$ ), м	0,238
Ширина отвала ( $B$ ), м	4,2
Радиус кривизны отвала ( $R$ ), м	0,6
$\beta$ , град	65
$\beta_K$ , град	72
$\epsilon$ , град	71
$\gamma$ , град	55

Учитывая, что на современном этапе невозможно установить однозначные величины параметров грунта в зависимости от категории, на предварительной стадии расчетов необходимо провести сравнение результатов определения сил сопротивления копанью по применяемым зависимостям (1, 2, 3 и 4) и представленной методике и определить параметры грунтов для последующих расчетов. Зная, что высота призмы волочения оказывает существенное влияние на сопротивление копанью, проведем расчеты с минимальной высотой призмы волочения, средней величиной и максимальной. Параметры грунта, принятые для расчетов, представлены в таблице 2.

Результаты предварительных расчетов отразим на диаграммах. На диаграммах приняты обозначения: по оси ординат откладываем толщину стружки ( $h$ ), по оси абсцисс откладываем величину силы сопротивления резанию ( $W$ ).  $W_s$  – сила сопротивления копанью, определяемая по общепринятой методике,  $W_n$  – сила сопротивления копанью, определяемая по предлагаемой методике,  $W_{max}$  – максимальная сила сопротивления копанью, определяемая по предлагаемой методике,  $W_{min}$  – минимальная сила сопротивления копанью, определяемая по предлагаемой методике.

На рис. 3 параметры грунта соответствуют идентификационному имени 1к2500 таблицы 2, высота призмы волочения 45 мм.

На рис. 4–6 параметры грунта соответствуют идентификационному имени 1к3000, высота стружки: рис. 4 – 45 мм, рис. 5 – 420 мм, рис. 6 – 740 мм.

На рисунках 7–9 параметры грунта соответствуют идентификационному имени 1к3500, высота стружки: рис. 7 – 45 мм, рис. 8 – 420 мм, рис. 9 – 740 мм.

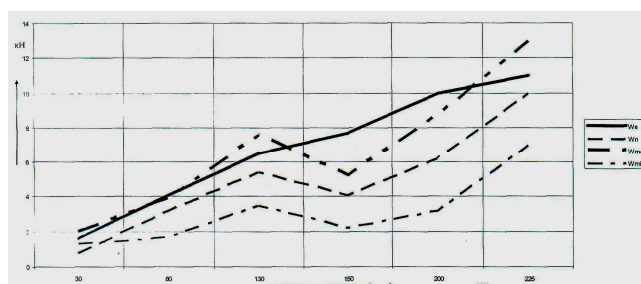


Рис. 3. Усилия сопротивления копанью при высоте призмы волочения 45 мм

Параметры грунта соответствуют идентификационному имени 1к3000 таблицы 2.

Таблица 2. Расчетные значения параметров грунта

Наименование параметра	значение	значение	значение	значение	значение
Идентификационное имя	1к2500	1к3000	1к3500	2к4000	2к4500
Категория	1	1	1	2	2
Плотность, т/м <sup>3</sup>	1,2	1	2	2	2
Число ударов плотномера ДорНИИ	1	2	4	6	8
Коэффициент разрыхления	1,08	1	1	1	1
Удельное сопротивление резанию, кПа	12	40	60	96	124
Удельное сцепление, кПа	4	18	20	27	35
Удельное остаточное сцепление, кПа	0	15	2	3	3
Угол внутреннего трения, град	28	29	30	31	32
Угол трения грунта по металлу, град	26	27	28	29	30
Объемный коэффициент жесткости, кПа/м	2500	3000	3500	4000	4500

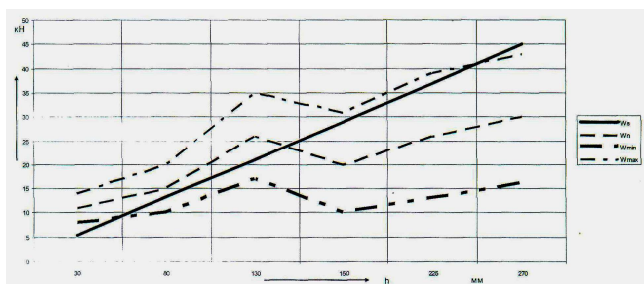


Рис. 4. Усилия сопротивления копанию при высоте призмы волочения 45 мм

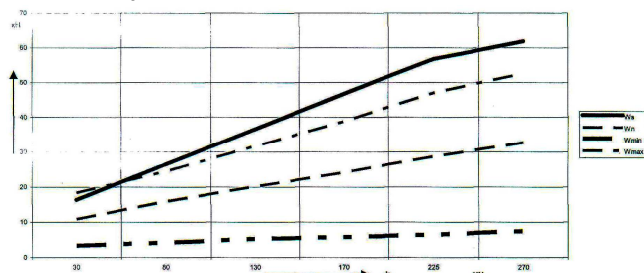


Рис. 5. Усилия сопротивления копанию при высоте призмы волочения 420 мм

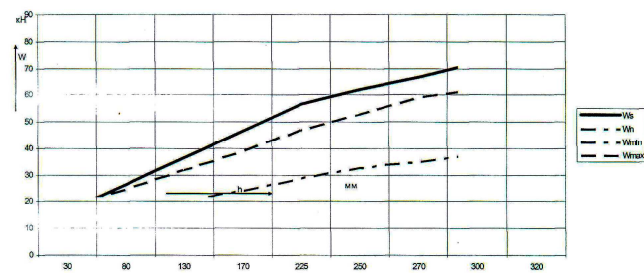


Рис. 6. Усилия сопротивления резанию при высоте призмы волочения 740 мм

Параметры грунта соответствуют идентификационному имени 1к3500 таблицы 2.

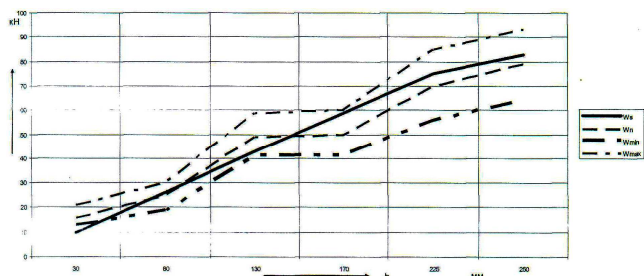


Рис. 7. Усилия сопротивления копанию при высоте призмы волочения 40 мм

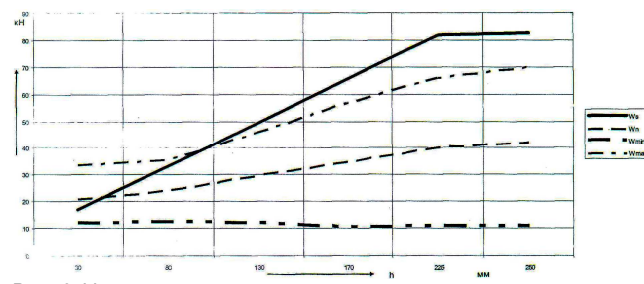


Рис. 8. Усилия сопротивления копанию при высоте призмы волочения 420 мм

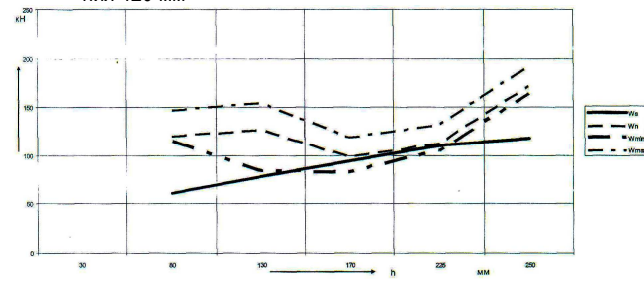


Рис. 9. Усилия сопротивления резанию при высоте призмы волочения 740 мм

Первичный анализ графического материала показывает, что в целом расчетные значения, полученные по обоим методикам, близки и имеют общий характер. С увеличением высоты стружки, усилия сопротивления копанию возрастают практически во всем диапазоне расчетов, с ростом призмы волочения силы сопротивления копанию так же растут. Расчеты, производимые с помощью общепринятой методики, не дают возможности для проведения анализа по большим параметрам, чем толщина стружки и высота призмы волочения. Характеристики, полученные с помощью этой методики, имеют практически линейный характер и не дают возможности для оптимизации. Методика, предлагаемая авторами, дает более богатый для анализа материал. Зависимости, усилий сопротивления копанию при тех же тенденциях имеют более сложный характер. В зависимости от параметров грунта, которые учитываются более полно на некоторых участках (рис. 3, 4) наблюдается незначительное снижение сил сопротивления копанию в локальной области, есть случаи, когда вид характеристик практически соответствует в обеих методиках (рис. 5). Наблюдаются варианты, когда при незначительных отклонениях средних сил сопротивления копанию значения максимальных и минимальных сил могут существенно увеличиваться.

При некоторых условиях копания при увеличении толщины стружки снижаются усилия сопротивления копанию рис. 3, 4, 7 и 9. Это объясняется тем, что при разработке материалов возможно появление такого сочетания условий, которое приводит к увеличению угла  $\phi$ , рис. 2. Незначительное увеличение этого угла при малых его значениях приводит к значительному уменьшению площади сдвига ВО, на рис. 2, что в свою очередь приводит к снижению общего сопротивления копанию. Следует отметить, что это

явление наблюдается не во всех случаях и для выработки конкретных рекомендаций требует проведения дополнительных исследований. На необходимость проведения исследований, в каждом конкретном случае, перед выбором параметров рабочего оборудования указывали и известные ученые, занимавшиеся изучением закономерностей процессов копания различными рабочими органами [2].

Таким образом, можно сделать предварительное заключение о необходимости использования предлагаемой авторами методики для анализа возможностей модификации отдельного рабочего оборудования в целом, либо его элементов в отдельности. Однако на следующей стадии необходимо сравнить результаты расчетов в двух методиках. С целью определения адекватности расчетов подробно проанализируем один из случаев, результаты расчетов занесем в таблицу 3.

**Таблица 3.** Статистический анализ сил сопротивления копанию грунта

Наименование параметра	значение
идентификационное имя грунта (в соответствии с таблицей 2)	1к3500
значение силы сопротивления копанию по стандартной методике, кН	86
Среднее значение силы сопротивления копанию по методике, предлагаемой авторами, кН	75
значение отклонения, кН	11
процент отклонения	13
дисперсия	59,9
среднее квадратичное отклонение	8271
медиана	75,1
стандартное отклонение выборки от среднего	6,6

Анализ значений таблицы 3 позволяет сделать заключение о возможности использования предлагаемой авторами методики для анализа влияния различных параметров рабочего оборудования бульдозера на величины сил сопротивления копанию.

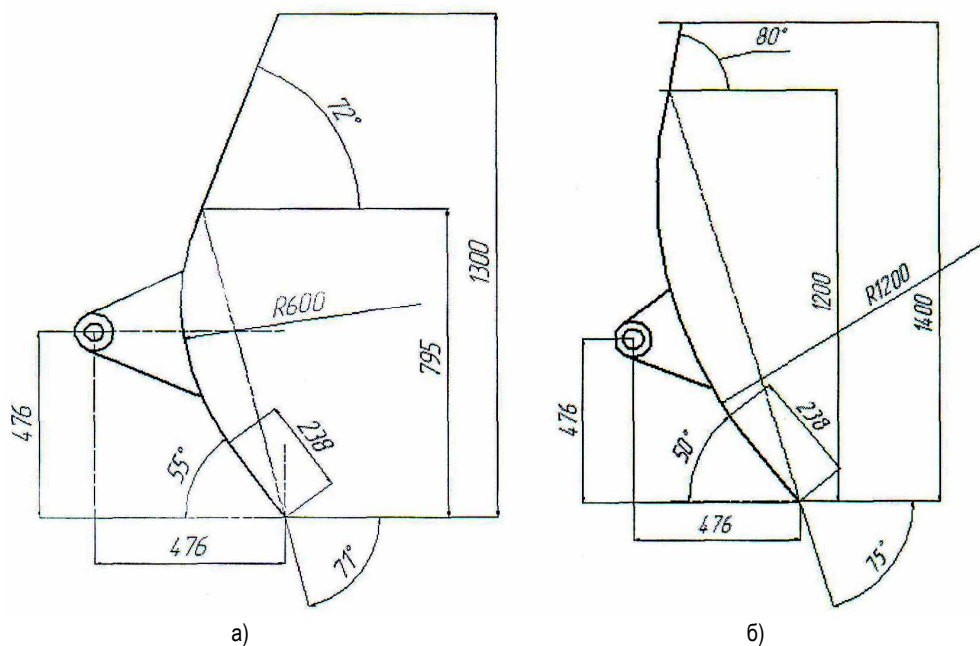
**Возможности снижения сил сопротивления копанию.** Для выбора направления проведения модернизации конструкции отвала, представим в графическом виде отвал с параметрами, приведенными в таблице 1.

Нетрудно заметить, что отвал, приведенный на рис. 10а, несколько отличается от классических форм. Данный отвал имеет небольшой радиус закругления криволинейной части, как следствие козырек у этого отвала – высокий. Грунт, поднимаясь по криволинейной части имеет крутую траекторию, что может увеличить сопротивления перемещению грунта по отвалу. При анализе параметров копания грунта и характеристик копания необходимо иметь в виду, что отвал заглубляется в грунт не вертикально, а перемещаясь по дуге, с центром в точке крепления толкающих брусьев на раме бульдозера.

Несмотря на явные отклонения формы отвала от классической выбрать параметры для изменения достаточно сложно, т.к. значения этих параметров хотя и не находятся в прямой взаимосвязи, но зависят друг от друга, но функционально оптимальные сочетания этих зависимостей не установлены. Учитывая, что многими практическими исследованиями рекомендованы определенные формы отвалов, можно предположить, что снижение сил сопротивления копанию может дать увеличение радиуса криволинейной части, уменьшение козырька и изменение угла установки отвала. Учитывая, что на первом этапе модернизации практически невозможно найти наилучшее решение, проведем предварительные расчеты для отвала, с параметрами, приведенными в таблице 4.

**Таблица 4.** Параметры модернизируемого отвала

Наименование параметра	значение
Высота отвала ( $H$ ), м	1,2
Высота козырька ( $H_K$ ), м	0,2
Точка крепления ( $X_{KP}$ ), м	0,476
Точка крепления ( $Y_{KP}$ ), м	0,476
Длина прямолинейной части отвала ( $a$ ), м	0,238
Ширина отвала ( $B$ ), м	4,2
Радиус кривизны отвала ( $R$ ), м	1,2
$\beta$ , град	65
$\beta_K$ , град	80
$\varepsilon$ , град	75
$\gamma$ , град	50



**Рис. 10.** Изображение сечения отвала

- а) с параметрами, приведенными в таблице 1
- б) с параметрами, приведенными в таблице 4

Таблица 5. Сравнительные результаты расчетов

наименование параметра	ед. изм	расчетные случаи						
		30	80	130	175	225	270	295
толщина вырезаемой стружки	мм	30	80	130	175	225	270	295
высота призмы волочения	мм	40	40	40	40	40	40	40
среднее значение силы сопротивления копанию, вариант а)	кН	29	48	93	90	125	150	180
среднее значение силы сопротивления копанию, вариант а)	кН	29	51	125	105	119	160	170
процент изменения силы сопротивления копанию		0	6	26	14	-5	6	-6
высота призмы волочения	мм	630	630	630	630	630	630	630
среднее значение силы сопротивления копанию, вариант а)	кН	163	139	157	142	159	250	265
среднее значение силы сопротивления копанию, вариант а)	кН	112	97	109	125	147	163	193
процент изменения силы сопротивления копанию		-46	-43	-44	-14	-8	-53	-37
высота призмы волочения	мм	740	740	740	740	740	740	740
среднее значение силы сопротивления копанию, вариант а)	кН	187	225	218	170	188	191	
среднее значение силы сопротивления копанию, вариант а)	кН	127	111	122	139	155	174	
процент изменения силы сопротивления копанию		-47	-103	-79	-22	-21	-10	

Результаты расчетов представим в виде таблицы 5, где в качестве исходных данных принят грунт с идентификационным именем 2к4500. В качестве вариантов рассматриваются отвалы, изображенные на рисунке 7 случаи а) и б). При определении процентных значений изменения сил сопротивления копанию знак «минус» говорит о том, что сила уменьшается для случая б). Отсутствие последних значений таблицы обусловлено тем, что из-за большого веса призмы волочения срезаемая стружка приобретает вид сливной, и определение сопротивлений копанию по предлагаемой методике в данном случае невозможно, кроме того, значение сил сопротивления копанию в данном случае значительно превышает силу тяги, развиваемую машиной.

Анализ результатов расчетов показывает, что однозначного снижения сил сопротивления копанию во всех расчетных случаях не происходит. Тем не менее, в большинстве случаев средние силу сопротивления копанию уменьшаются от 5% и в некоторых случаях в 2 раза. Это говорит о правильном выборе направления модернизации. На основании приведенных расчетов нельзя делать окончательные выводы о конструкции анализируемого отвала, однако можно предположить достаточно уверенно, что при проведении оптимизационных работ с привлечением теории планирования эксперимента, возможно получение параметров конструкции, практически соответствующих идеальным, со значительной минимизацией сил сопротивления копанию.

**Заключение.** Предлагаемая методика позволяет проводить оптимизационные работы по определению параметров рабочего оборудования бульдозера. С помощью программного обеспечения, основанного на использовании современных методов определения сил сопротивления копанию, возможно проведение расчетов, посвященных определению сил сопротивления копанию рабочим оборудованием бульдозера с учетом более чем 10 параметров отвала, толкающей рамы и рабочего оборудования в целом. Анализ рабочего процесса с учетом большого количества параметров позволит на стадии проектирования машины исключить заведомо неудачные варианты и выбрать наиболее оптимальный, учитывающий условия работы конкретной машины.

На данном этапе появляется возможность определения оптимальных параметров отвала с учетом запросов организаций, экс-

плуатирующих технику в заранее известных ограниченных условиях. Следует отметить, что и ранее предусматривались возможности использования нормальных, уменьшенных и увеличенных отвалов, однако использование предлагаемой методики позволит осуществлять проектирование отвалов, в том числе с измененными углом резания, радиусом кривизны, варьировать углом установки отвала и другими параметрами в зависимости от назначения машины.

Значения усилий, полученные в результате предварительных расчетов на стадии проектирования машины, могут быть использованы при проведении расчетов методом конечных элементов с целью определения наиболее нагруженных пространственных элементов конструкций. Результаты данных расчетов могут привести к снижению металлоемкости проектируемых и модернизированных машин, а также к повышению надежности и долговечности.

Кроме использования усилий, определение которых осуществляется более точно по предлагаемой методике, появляется возможность проведения анализа различных стадий копания с целью разработки критериев изменения угла установки отвала на стадиях заглабления, наполнения отвала, транспортирования грунта и выгрузки с целью минимизации затрат.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник конструктора дорожных машин. Изд. 2-е, переработ, и доп. / И.П. Бородачев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1973. – 504 с.
2. Зеленин, А.Н. Машины для земляных работ / А.Н. Зеленин, В.И. Баловнев, И.П. Керов. Учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1975. – 421 с.
3. Домбровский, Н.Г. Землеройные машины / Н.Г. Домбровский, С.А. Панкратов. – М.: Гостройиздат, 1961.
4. Берестов, Е.И. Научные основы моделирования системы «Грунт – рабочее оборудование землеройных машин» в режиме послойной разработки: дисс. докт. техн. наук. – Могилев, 1998. – 404 с.
5. Берестов, Е.И. Методика определения параметров больших и малых сдвигов при копании грунта отвальным рабочим органом / Е.И. Берестов, И.В. Лесковец // Строительная наука и техника (научно-технический журнал). Официальное информационное издание министерства архитектуры и строительства РБ №1(22), 2009. – С. 86–91.

## BERESTOV E.I., LESKOVEC V.V., PEKLIN V.V. Methods of definition of efforts of resistance копанью by the worker by the equipment of the bulldozer

The paper presents a method for determining the forces of resistance to digging by a bulldozer blade on the basis of the analysis of the processes occurring during the separation of the chip from an array of ground as well as during the movement of the drawing prism.

The analysis of the methods used in determining the forces of resistance to digging is made. The design scheme, based on which the characteristic geometrical elements of the working equipment and the drawing prism are worked out, has been well-grounded. With the help of the proposed methods the forces of resistance to digging, arising on the working equipment, used in serial technique, are analyzed.

The possibility of analyzing of a large number of parameters of the working equipment that affect the forces of resistance to digging, compared with the used method, is found out.

The comparison of the mean values of the forces of resistance to digging showed the adequacy of the results obtained with the proposed methods. A way to optimize the parameters of the blade is outlined, the results are obtained that allow to make a conclusion about the possibility of such optimization. The conclusion about the prospects of the proposed methods of calculation is made.

УДК 621.825

Кульгейко М.П., Акулич А.П., Кульгейко Г.С., Гринкевич И.В.

## ПРИМЕНЕНИЕ КЛИНОРЕМЕННОЙ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ МУФТЫ В ПРИВОДЕ ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН

**Введение.** Наряду с общими характеристиками любая вибрационная машина имеет несколько характеристик качества и надежности, которые учитывают специфику ее проектирования, наладки и эксплуатации. К ним относятся стабильность, коэффициент усиления вынуждающей силы и уравновешенность. Идеализация машины в виде совокупности твердых или упругих тел, обладающих массами (моментами инерции), соединенных условно невесомыми упругими элементами и кинематическими направляющими так же, как и в реальной машине, представляет динамическую схему вибрационной машины. Динамическая схема отображает тип машины, тип привода (режим работы) и характеризуется определенными эксплуатационными свойствами [1].

На основе анализа динамических схем по эксплуатационным свойствам, представленных в работе [1], рассмотрена вибрационная машина одномассной динамической схемы с принудительным приводом, в частности, кривошипно-шатунным с жестким шатуном. Достоинство этой схемы в неизменности амплитуды колебаний рабочего органа, т. е. в высокой стабильности, что является одним из наиболее важных факторов наряду с коэффициентом усиления вынуждающей силы и уравновешенностью, характеризующих качество и надежность вибрационной машины.

**Постановка задачи.** Часто при работе вибрационной машины могут возникать дополнительные упругие колебания (рабочего органа, отдельных его элементов или участков), толчки и удары, которые нарушают нормальный ход технологического процесса, снижая его стабильность. Для снижения отрицательного воздействия применяют упругие муфты, обладающие следующими демфирующими свойствами: смягчают толчки и удары, переводя кинетическую энергию в тепловую и потенциальную энергию деформации; защищают от резонансных крутильных колебаний; не требуют точной соосности валов [2].

Наиболее простой по конструкции муфтой, обладающей одновременно компенсационными, упругими и предохранительными свойствами, является, например, упругая центробежная муфта Т.Г. Рыбчевского. Однако эта муфта способна передавать сравнительно небольшую мощность при средней частоте вращения соединяемых

валов, т.е. ее нагрузочная способность является достаточно низкой. Причина низкой нагрузочной способности муфты – ограничения по коэффициенту трения пары «полумуфта-лента». Задача заключается в повышении нагрузочной способности муфты при сохранении ее габаритных размеров, упругих свойств и относительной простоты конструкции.

**Результаты исследований.** Поставленная задача решается за счет применения в муфте (рис. 1) эластичной ленты с клиновыми выступами, которые входят в соответствующие кольцевые канавки полумуфт с опорой на их боковые поверхности. Наличие на эластичной ленте клиновых выступов превращает ее в клиноремennую ленту [3].

Наличие кольцевых канавок на цилиндрических внутренних поверхностях чашеобразных полумуфт, профиль которых соответствует профилю клиновых выступов, позволяет повысить площадь фактического контакта между лентой и внутренними поверхностями полумуфт. Высота клиновых выступов и глубина кольцевых канавок на внутренних поверхностях полумуфт подбираются таким образом, чтобы реализовывался «эффект самозаклинивания», т. е. отсутствие контакта торцов выступов на ленте с торцовыми поверхностями канавок. Выполнение условия превышения высоты клиновых выступов на эластичной ленте над ее толщиной позволяет привести в соответствие упругие свойства муфты с ее нагрузочной способностью.

Муфта работает следующим образом. При вращении ведущей полумуфты 1 силами трения увлекается и начинается вращаться эластичная клиноремennая лента 3, которая боковыми поверхностями своих выступов прижимается к боковым поверхностям клиновых кольцевых канавок полумуфт 1 и 2 центробежной силой, за счет чего возникает момент сил трения  $M_{mp}$ , вращающий ведомую полумуфту:

$$M_{mp} = mf' \omega^2 R^2, \quad (1)$$

где  $m$  – масса ленты;  $\omega$  – угловая скорость ленты;  $R$  – радиус средней цилиндрической поверхности ленты;  $f'$  – приведенный коэффициент трения клиноремennой ленты,  $f' = f / \sin(\varphi/2)$ ;  $f$  – коэффициент трения эластичной ленты о поверхность полумуфт (для пары «резина-чугун»  $f = 0,6$ );  $\varphi$  – угол клина ремней.

*Кульгейко Михаил Петрович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой технологии машиностроения Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.*

*Кульгейко Галина Степановна, ассистент кафедры гидропневмоавтоматики Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.*

*Гринкевич Игорь Владимирович, ассистент кафедры технологии машиностроения Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.*

*Беларусь, ГГТУ им. П.О. Сухого, 246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.*

*Акулич Антон Павлович, к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*