

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ БУЛЬДОЗЕРА ПРИ КОПАНИИ ГРУНТА**

**Игорь СУРОВЦЕВ, Павел НИКУЛИН, Олег ЧУЙКОВ**

[sdm-vgasu@rambler.ru](mailto:sdm-vgasu@rambler.ru)

*Игорь Степанович Суровцев, ректор ВГАСУ, доктор технических наук, профессор, Павел Иванович Никулин, доктор технических наук, профессор, Олег Владимирович Чуйков, инженер, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, Воронеж, РОССИЯ*

**Аннотация:** В статье рассмотрен вопрос о влиянии угла резания на процесс копания грунта. Разработана конструкция рабочего оборудования бульдозера, позволяющая установить оптимальный угол резания для различных грунтовых условий.

**Ключевые слова:** Бульдозер, рабочее оборудование, угол резания, сопротивление грунта копанию, тяговая характеристика.

Многолетние исследования, проводимые с целью совершенствования рабочего оборудования бульдозеров, позволяют выявить ряд наиболее перспективных направлений в данной области.

В первую очередь следует отметить достижения в области автоматизации систем управления машин, что очевидно, ввиду появления новых возможностей программного обеспечения.

В то же время разработка вопроса совершенствования конструкций отвальных рабочих органов остается актуальной задачей, так как в данном направлении достаточно резервов для повышения эффективности процесса копания.

Ввиду работы бульдозеров на грунтах, имеющих различные физико-механические свойства, очевидна необходимость разработки адаптивных рабочих органов.

В настоящее время имеются положительные результаты по изучению влияния глубины и ширины резания на процесс копания, что позволило создать адаптивный рабочий орган, изменяющийся по ширине, а также адаптивную систему управления,

обеспечивающую работу на требуемой глубине резания.

Одним из значимых факторов, влияющих на процесс копания грунта, является угол резания, так как снижение сопротивлений грунта резанию и копанию за счет оптимизации угла резания ведет к увеличению глубины копания и рабочих скоростей движения машин, а, следовательно, к повышению производительности. В процессе разработки грунта бульдозерами наибольшая часть энергии расходуется на резание грунта, поэтому к оптимальным следует относить углы, соответствующие минимальному значению силы резания.

На первом этапе создания адаптивного рабочего оборудования, позволяющего оптимизировать угол резания, необходимо получить теоретическое обоснование диапазона его изменения.

В выпускаемых в настоящее время бульдозерах угол резания изменяется в пределах - 45...65 градусов.

Указанный выше диапазон углов существенно отличается от оптимальных углов, представленных в технической литературе.

Результаты исследований докторов технических наук, профессоров: Н.Г.Домбровского [1], А.Н.Зеленина [2], В.И.Баловнева [3], Д.И.Федорова [4], К.А.Артемьева [5], Ю.А.Ветрова [6], И.А.Недорезова [7] и ряда других ученых показывают, что оптимальные углы резания составляют 15...30 градусов.

Авторами статьи была предложена конструкция рабочего оборудования бульдозера (заявка на изобретение №2008100340/03 с приоритетом от 9.02.2008 г.), позволяющая повысить эффективность процесса копания путем оптимизации угла резания.

При этом предварительно был установлен диапазон изменения угла резания, в котором появление оптимального угла наиболее вероятно.

На рис.1 представлена трехмерная модель модернизированного рабочего оборудования бульдозера. Рабочее оборудование включает: отвал 1, соединенный посредством пальцев с толкающими брусками 2 и гидроцилиндры 3 изменения угла резания.

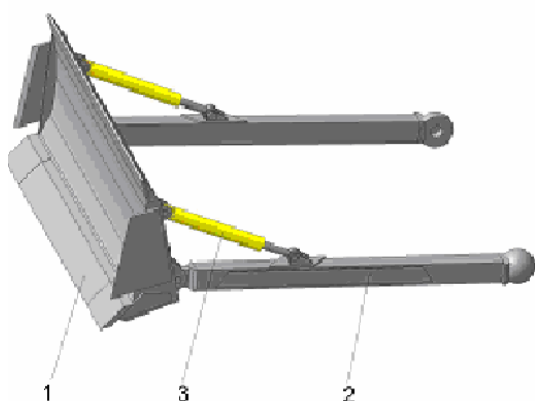


Рис.1 - Модернизированное рабочее оборудование бульдозера

В качестве устройства, изменяющего угол резания, наряду с гидроцилиндрами в заявке на изобретение предложено принципиально новое электромагнитное управляющее устройство, применение которого в бульдозерах малой и средней мощности является актуальным.

Достоинствами данного устройства является быстрое действие, защита окружающей среды от возможных утечек гидравлической жидкости, малая потребляемая мощность, габариты и масса.

Используя уравнение Зеленина - Горовица [2], как наиболее близкое к эксперимен-

тальным данным, получены значения усилий резания для бульдозера ДЗ-110, позволяющие судить об эффективности использования модернизированного рабочего оборудования:

$$(1) \quad P_p = (1 + ctg\alpha \cdot tg\delta) \frac{l \cdot h (1 - \sin\rho \cdot \cos 2\varphi_n)}{1 + \sin\rho \cdot \cos 2\varphi_n} \cdot (C_0 \cdot \cos\rho + \gamma_z \cdot h),$$

Н;

где  $l$  - ширина резания, см;

$h$  - глубина резания, см;

$\rho$  - угол внешнего трения грунта по грунту, град;

$$2\varphi_n = 2\pi - 2\alpha - \delta - \arcsin(\sin\rho \cdot \sin\delta);$$

$C_0$  - сцепление грунта, Н/см<sup>2</sup>;

$\gamma_z$  - объемный вес грунта, Н/см<sup>3</sup>;

$\alpha$  - угол резания, град;

$\delta$  - угол трения грунта по стали, град;

Расчет сопротивления грунта копанию для неповоротного отвала производился по формуле [8]:

$$(2) \quad P_{kop} = P_p + P_{mp} + P_n + P_6, \text{ Н};$$

где  $P_{mp}$  - сила трения ножа о грунт, Н;

$P_n$  - сила сопротивления перемещению призмы волочения грунта, Н;

$P_6$  - сила трения грунта при движении вверх по отвалу, Н;

Для расчета силы трения ножа о грунт использовалась зависимость [5]:

$$(3) \quad P_{mp} = \mu_2 \cdot P_2,$$

где  $\mu_2 = tg\delta$  - коэффициент трения грунта по стали;

$P_2$  - вертикальная составляющая сопротивления грунта резанию, Н;

$$(4) \quad P_2 = P_p \cdot ctg(\alpha + \delta),$$

Сила сопротивления перемещению призмы волочения грунта определялась из выражения [8]:

$$(5) \quad P_n = \mu_1 \cdot G_n,$$

где  $\mu_1$  - коэффициент трения грунта по грунту;

$G_n$  - вес призмы волочения грунта, Н;

Вес призмы волочения рассчитывается по формуле [8]:

$$(6) \quad G_n = \frac{\gamma_z \cdot B_0 \cdot H_0^2}{k_p \cdot 2 \cdot \operatorname{tg} \varepsilon},$$

где  $\gamma_z$  - объемный вес грунта, Н/м<sup>3</sup>;

$B_0$  - длина отвала, м;

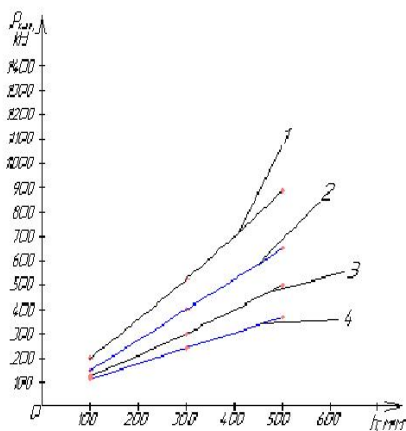
$H_0$  - высота отвала без учета козырька, м;

$\varepsilon$  - угол естественного откоса грунта, град;

$k_p$  - коэффициент разрыхления грунта;

Для определения величины силы сопротивления движению стружки грунта вверх по отвалу использовалась формула [8]:

$$(7) \quad P_g = G_n \cdot \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha,$$



**Рис.2 - График зависимости сопротивления грунта копанию от глубины резания**

$P_{kop} = P_{kop}(h)$ : кривая 1 - для глины и угла резания  $\alpha = 55^\circ$ ; кривая 2 - для глины и угла резания  $\alpha = 30^\circ$ ; кривая 3 - для суглинка и угла резания  $\alpha = 55^\circ$ ; кривая 4 - для суглинка и угла резания  $\alpha = 30^\circ$

Из графиков следует, что при увеличении глубины копания влияние угла резания на значение сопротивления грунта копанию возрастает.

Анализируя полученные для бульдозера ДЗ-110 по приведенным выше формулам данные, можно сделать вывод о том, что при разработке грунта рабочим оборудованием с углом резания 30 градусов сопротивление грунта резанию (независимо от глубины резания) уменьшается:

- для глины на 44.5%;
- для суглинка на 45.2%;
- для супеси на 39.4%,

по сравнению с углом резания 55 градусов.

В свою очередь, сопротивление грунта копанию (в зависимости от глубины резания  $h = 100 \dots 500$  мм) уменьшается:

- для глины на 17,8...26,5%;
- для суглинка на 12,2...27,1%;
- для супеси на 1,7...18%.

На рис.3 представлена тяговая характеристика бульдозера ДЗ-110, оснащенного модернизированным рабочим оборудованием.

Тяговая характеристика позволяет проверить реализацию тягово-сцепных качеств бульдозера, при оснащении его модернизированным и серийно выпускаемым рабочим оборудованием. При этом эффективная работа бульдозера будет иметь место, когда сопротивление грунта копанию меньше или равно значению номинальной силы тяги  $\dot{O}_{iii} = 125 \text{ kH}$ .

С целью обоснования эффективности использования модернизированного рабочего оборудования следует рассмотреть два случая работы бульдозера ДЗ-110.

В первом случае для серийного рабочего оборудования с углом резания  $\alpha = 55^\circ$  и модернизированного рабочего оборудования с углом резания  $\alpha = 30^\circ$  устанавливается одинаковая глубина резания. Так как сопротивление грунта копанию для модернизированного рабочего оборудования меньше, чем для серийного, поэтому бульдозер может развивать большие рабочие скорости движения. Данное утверждение можно проверить, отложив по оси силы тяги  $T$  значения сопротивлений грунта копанию двух сравниваемых вариантов и восстановив перпендикуляры до пересечения с графиком действительной скорости машины  $v_a$  (рис.3).

Так для конечной стадии копания при глубине резания  $h = 70 \text{ мм}$  сопротивление грунта копанию для модернизированного рабочего оборудования составляет  $P_{к1} = 125,727 \text{ kH}$  (рис.3), что соответствует наиболее благоприятным условиям работы бульдозера на режиме номинальной силы тяги  $\dot{O}_{iii} = 125 \text{ kH}$ . Для серийного рабочего оборудования сопротивление грунта копанию составляет  $P_{к2} = 152,928 \text{ kH}$  (рис.3), что близко к значению силы тяги по сцеплению  $\dot{O}_\phi = 157,04 \text{ kH}$ , соответствующей 100%-

ому буксованию гусеничного движителя. При этом рабочие скорости движения бульдозера

равны  $v_{01} = 1,7 \text{ км/ч}$  и  $v_{02} = 0,79 \text{ км/ч}$  соответственно.

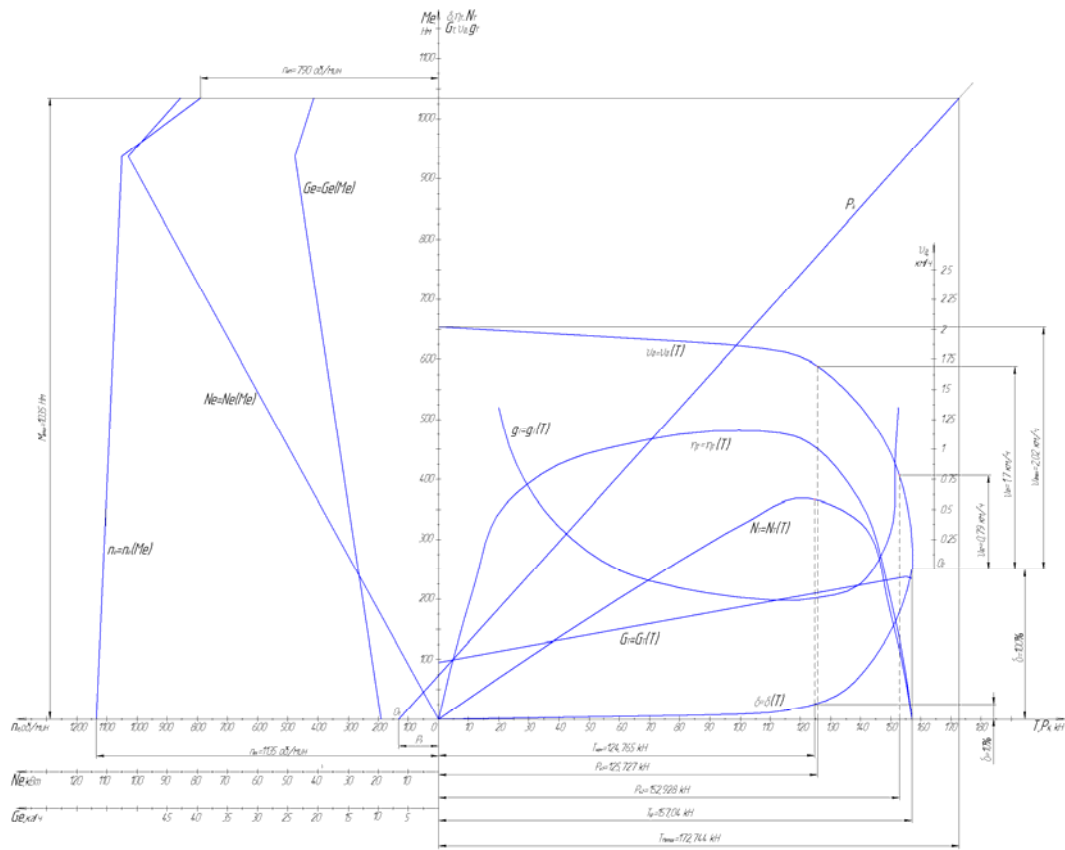


Рис.3 - Тяговая характеристика бульдозера ДЗ-110 с механической трансмиссией

Во втором случае рассматривается работа бульдозера на режиме максимальной тяговой мощности  $N_{\dot{o}_{max}} = 59.04 \text{ кВт}$  с выходом на номинальную силу тяги  $\dot{O}_{iii} = 125 \text{ кН}$ .

Согласно расчетным данным для конечной стадии копания, с учетом работы бульдозера ДЗ-110 на режиме максимальной тяговой мощности, глубина резания для рабочего оборудования с углом резания 30 градусов составляет для глины 70 мм, что на 40% превосходит глубину резания  $h=50 \text{ мм}$ , полученную для серийного рабочего оборудования с углом резания равным 55 градусов. Возможность срезания стружки грунта большей толщины позволяет значительно сократить путь копания и повысить техническую производительность.

**Вывод:** модернизированное рабочее оборудование позволяет повысить производительность бульдозера за счет уменьшения времени рабочего цикла, увеличения рабочих скоростей движения и толщины срезаемой стружки грунта.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Домбровский Н.Г., Гальперин М.И. Землеройно-транспортные машины. - М.:Машиностроение,1965.-274 с.
- [2] Зеленин А.Н., Керов И.П., Баловнев В.И. Машины для земляных работ. - М.:Машиностроение,1975.-424 с.
- [3] Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия. - М.:Машиностроение,1981.-223 с.
- [4] Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. - М.:Машиностроение, 1977.-288 с.
- [5] Артемьев К.А. Теория резания грунтов землеройными машинами. - Новосибирск: Новосибирский инженерно-строительный институт им. В.В. Куйбашева,1978.-104 с.
- [6] Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. - М.: Машиностроение, 1971.- 357 с.
- [7] Исследование машин для земляных работ: Сборник научных трудов / ВНИИ

транспортного строительства; под ред. И.А.  
Недорезова. - М.:Транспорт,1984.-134 с.

[8] Волков Д.П., Крикун В.Я., Никулин  
П.И. Машины для земляных работ. -  
М.:Машиностроение,1992.-448 с.

## **INCREASING BULLDOZER OPERATIONAL EFFICIENCY WITH DIGGING GROUND**

**I.S. SUROVTSEV, P.I.NIKULIN, O.V.CHUYKOV**  
[sdm-vgasu@rambler.ru](mailto:sdm-vgasu@rambler.ru)

*Igor Stepanovich Surovtsev, Rector VSUACE, DSc, Prof.*  
*Pavel Ivanovic Nikulin, DSc, Prof.*  
*Oleg Vladimirovich Chuykov, MSc. Eng,*  
*Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering*  
**RUSSIA, VORONEZH**

**Abstract:** *The paper presents the problem of the cutting angle influence on the ground digging process. The structure of bulldozer operational equipment that gives a possibility to fix the optimal angle of cutting for different ground conditions has been developed.*

**Key words:** *Bulldozer, operational equipment, angle of cutting, ground resistance against digging, traction features.*