

РАЗДЕЛ I.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

невренностью, а также тем, что рабочий орган в этих машинах не обеспечивает возможность уплотнения грунтов в значительном удалении от базовой машины. Поэтому эти машины находят ограниченное применение при уплотнении грунтов в стесненных условиях.

Наибольшее же применение для уплотнения грунта в стесненных условиях получает сменное уплотняющее оборудование к базовым машинам – гидравлическим экскаваторам, малогабаритным тракторам, кранам.

Трамбующие машины с рабочим органом двойного действия разделяются по виду привода на дизельные, электрические, электромагнитные, гидравлические, пневматические, механические, взрывного действия и комбинированные.

В современных условиях для интенсификации производственных процессов в различных отраслях промышленности широко используются гидравлические ударные устройства, под которыми понимается механизм, в котором энергия жидкости генерируется в импульсы силы определенной частоты и интенсивности, воздействующие на некоторую обрабатываемую среду. Наибольшее применение они находят в качестве активных рабочих органов дорожно-строительных, горных и других машин [1 – 6, 14]. Энергетические показатели (энергия, мощность единичного удара) гидропневматических ударных устройств зависят от скорости бойка и таких его конструктивных параметров, как масса, величина хода бойка, давление зарядки газа пневмоаккумулятора [4 – 6, 14].

Грунтоуплотняющие машины с гидроударными рабочими органами на базе трактора (рис. 1) предназначены для уплотнения грунта трамбованием [5].

Перспективным навесным грунтоуплотняющим оборудованием к экскаваторам являются гидротрамбовки (рис. 2) на основе гидравлических ударных устройств [5]. Гидротрамбовка является сменным рабочим оборудованием экскаватора и навешивается на него вместо ковша.

Важным преимуществом гидроударного оборудования является универсальность, широкая область применения для выполнения различных видов работ.

Эффективная работа грунтоуплотняющих машин возможна лишь в том случае, если при их создании учтены физико-механические свойства грунтов. Анализ исследований уплотнения грунта трамбованием показал, что наибольшее распространение для расчета

параметров трамбуемых рабочих органов получила теория удельных импульсов профессора Н.Я. Хархуты, которая подтверждается результатами многочисленных исследований и практическим опытом [13].

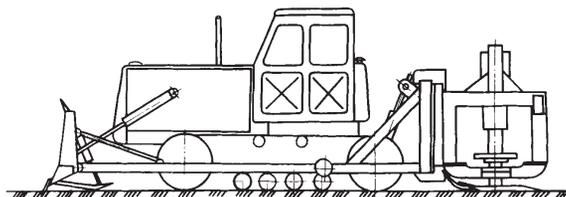


Рисунок 1 – Грунтоуплотняющая машина с гидроударниками на базе трактора

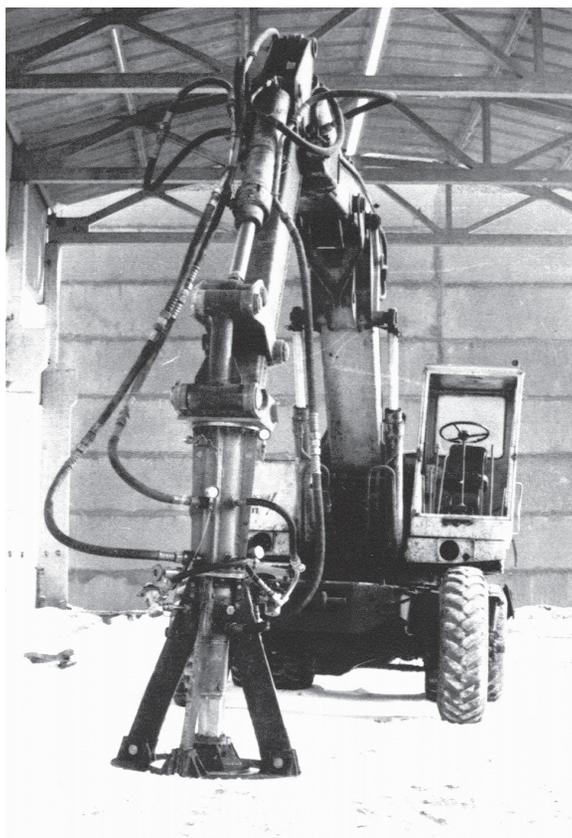


Рисунок 2 – Экскаватор ЭО-3322 с гидротрамбовкой

Выбор основных параметров трамбуемого рабочего органа сводится к определению массы подвижных частей, общей массы трамбуемого рабочего органа, скорости в момент удара, требуемой энергии удара, а также размеров трамбуемой плиты. Указанные параметры должны обеспечить получение требуемой плотности в слое грунта заданной толщины. При этом необходимо стремиться к тому, что-

бы достижение требуемой плотности происходило при минимальном числе ударов. Это условие обеспечивается выбором удельного импульса удара, близким к предельному, а контактного напряжения на поверхности грунта, близким к пределу прочности грунта [13].

Теория импульсов Н.Я. Хархуты [13] основана на использовании уравнения количества движения с оценкой эффективности уплотняющего воздействия трамбующего рабочего органа на грунт по величине удельного импульса удара. Явление удара описывается известным выражением

$$\int_0^{\tau} P dt = m \cdot (V_1 - V_2), \quad (1)$$

где τ – время удара; P – сила, развиваемая в процессе удара; m – масса рабочего органа; V_1 – скорость рабочего органа в начале удара; V_2 – скорость рабочего органа в конце удара (принимается равной нулю).

Толщину уплотняемого слоя грунта следует выбирать равной глубине активной зоны, где в процессе уплотнения деформация грунта по глубине распределяется равномерно. В активной зоне реализуется 80...90 % всей необратимой деформации грунта.

Для данного вида грунта глубина активной зоны зависит от геометрических размеров трамбующей плиты (главный фактор), контактного напряжения, скорости изменения напряженного состояния, влажности грунта. Профессор Н.Я.Хархута дает формулу для определения глубины активной зоны h_0 [13]:

$$h_0 = \alpha \cdot B_{min} \frac{W}{W_0} \left(1 - e^{-3,7 \frac{\sigma_0}{\sigma_p}} \right), \quad (2)$$

где α – коэффициент, зависящий от скорости изменения напряженного состояния, $\alpha = 1,1$ – для связных грунтов, $\alpha = 1,3$ – для несвязных грунтов; W – влажность уплотняемого грунта; W_0 – оптимальная влажность уплотняемого грунта; e – число Эйлера; B_{min} – минимальный поперечный размер поверхности контакта трамбующей плиты с уплотняемым грунтом, м; σ_0 – величина контактного напряжения рабочего органа с грунтом, МПа; σ_p – предел прочности грунта, МПа.

Зависимость глубины активной зоны от минимального поперечного размера трамбующей плиты B_{min} и отношения σ_0/σ_p представлена на рис. 3.

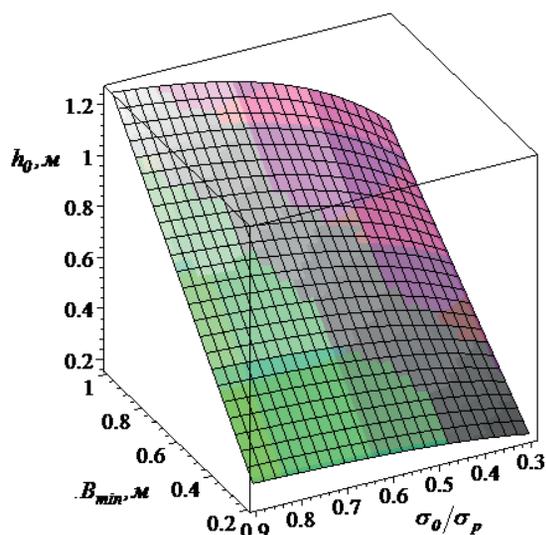


Рисунок 3 – Зависимость глубины активной зоны h_0 от размера трамбующей плиты B_{min} и отношения σ_0/σ_p

В процессе удара трамбующей плиты о грунт кинетическая энергия движущихся масс расходуется на совершение упругих и пластических деформаций и преобразуется в другие виды энергии.

Профессором В.Н.Тарасовым было предложено применять общие теоремы динамики к процессу ударного уплотнения грунтов [8, 9, 12].

Рассмотрим процесс ударного уплотнения грунта с позиции теоретической механики как соударение двух тел (трамбующей плиты с уплотняемым грунтом). При неупругом соударении трамбующей плиты с уплотняемым грунтом они обмениваются энергией и импульсом [8, 9].

Процесс ударного уплотнения грунта состоит из двух этапов. Первый этап – ударные взаимодействия масс между собой, в котором отсутствует их относительное перемещение, и второй этап – послеударные перемещения масс в толще грунта.

Рассмотрим первый этап рабочего процесса. Пусть m_1 – масса ударной части (трамбующей плиты), которая имеет скорость V_1 в момент соприкосновения с массой m_2 . Величину массы m_2 будем считать равной сумме масс всех элементов, расположенных между трамбующей плитой и уплотняемым грунтом. Вследствие невозможности свободного отскока массы m_1 в гидравлическом механизме считаем удар абсолютно неупругим, для которого коэффициент восстановления $K = 0$. Тог-

РАЗДЕЛ I.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

да скорость уплотняющего органа после первого этапа рабочего процесса определяется из выражения

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) U_1 \quad (3)$$

Откуда найдем скорость U_1 :

$$U_1 = V_1 \frac{m_1}{m_1 + m_2}, \quad (4)$$

т.к. скорость второго тела перед ударом $V_2=0$.

В результате первого этапа рабочего процесса рабочий орган приобретает скорость U_1 и запас кинетической энергии, которая расходуется на совершение упругих и пластических деформаций в грунте.

Средняя динамическая составляющая удельного импульса удара под трамбуемой плитой на поверхности грунта определяется выражением [8, 9]:

$$\sigma_{дин} = \frac{(m_1 + m_2) U_1}{\tau S}, \quad (5)$$

где τ – время деформации грунта при ударе; S – площадь контактной поверхности трамбуемой плиты;

Значения $\sigma_{дин}$ приведены на рис. 4.

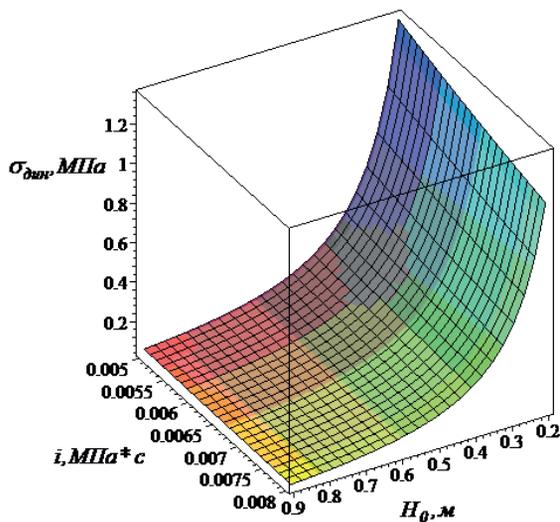


Рисунок 4 – Зависимость динамических напряжений $\sigma_{дин}$ на поверхности грунта от удельного ударного импульса и толщины уплотняемого слоя грунта ($m_1 = 100$ кг, $V_1 = 5$ м/с, $\alpha = 1,3$ – для несвязных грунтов)

Геометрические размеры трамбуемой плиты при оптимальных влажностях грунтов выбираются из условия [13]:

$$B_{min} \geq \frac{H_0}{\alpha \left(1 - e^{-\frac{3,7 \sigma_0}{\sigma_p}} \right)}, \quad (6)$$

где H_0 – толщина уплотняемого слоя грунта.

Площадь контактной поверхности трамбуемой плиты с грунтом равна $S = \pi B^2 / 4$ для круглой плиты и $S = B^2$ для квадратной плиты.

Значения размеров трамбуемой плиты B_{min} , вычисленные по уравнению (6), приведены на рис. 5, 6.

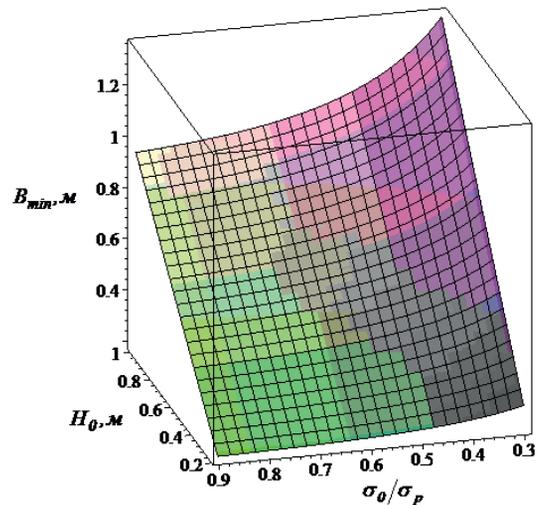


Рисунок 5 – Зависимость поперечного размера трамбуемой плиты B_{min} от толщины уплотняемого слоя грунта H_0 и отношения σ_0/σ_p (при $\alpha = 1,1$ – для связных грунтов)

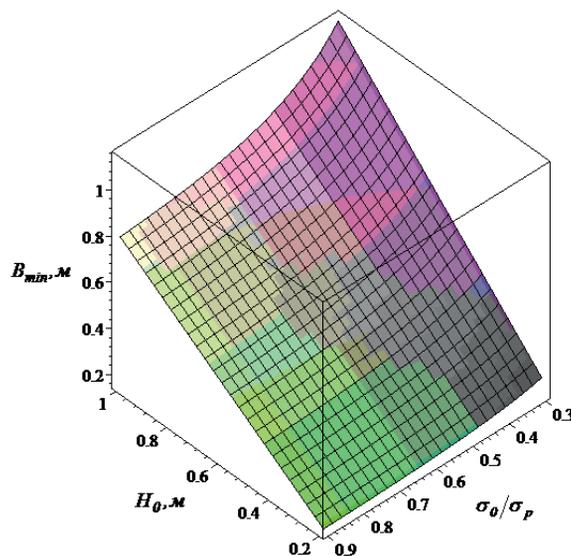


Рисунок 6 – Зависимость поперечного размера трамбуемой плиты B_{min} от толщины уплотняемого слоя грунта H_0 и отношения σ_0/σ_p (при $\alpha = 1,3$ – для несвязных грунтов)

На рис. 7 представлены зависимости массы подвижных частей трамбующего оборудования от толщины уплотняемого слоя грунта и контактных напряжений на поверхности грунта. На рис. 8 представлены зависимости требуемой энергии удара от толщины уплотняемого слоя грунта и контактных напряжений на поверхности грунта.

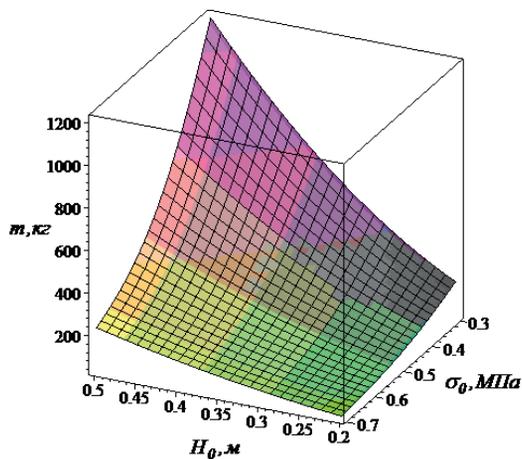


Рисунок 7 – Зависимость массы подвижных частей от толщины уплотняемого слоя грунта и контактных напряжений на поверхности грунта для супесей

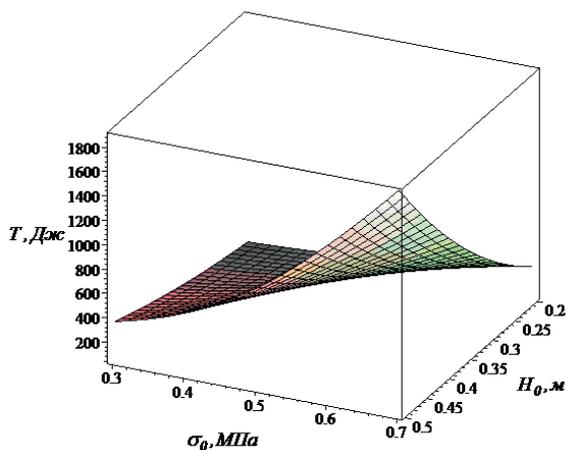


Рисунок 8 – Зависимость энергии удара от толщины уплотняемого слоя грунта и контактных напряжений на поверхности грунта для супесей

ВЫВОДЫ

Гидроударный трамбующий рабочий орган должен обеспечивать возможность регулирования скорости удара, массы подвижных частей, энергии удара в зависимости от толщины

уплотняемого слоя и вида грунта.

Повышение толщины уплотняемого слоя грунта, как это следует из формулы (6), влечет за собой увеличение геометрических размеров трамбующей плиты, что (при сохранении одинакового значения удельного ударного импульса и контактного напряжения на поверхности грунта) приводит к увеличению массы подвижных частей и гидроударного трамбующего рабочего органа в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алимов, О.Д. Гидравлические виброударные системы / О.Д. Алимов, С.А.Басов. – М. : Наука, 1990. – 352 с.
2. Архипенко, А.П. Гидравлические ударные машины / А.П. Архипенко, А.И. Федулов. – Новосибирск : ИГД СО АН СССР, 1991. – 108 с.
3. Галдин, Н.С. Автоматизированное моделирование гидроударного оборудования для экскаваторов : монография / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. – Омск : СибАДИ, 2008. – 101 с.
4. Галдин, Н.С. Ковши активного действия для экскаваторов: учебное пособие / Н.С. Галдин, Е.А. Бедрина. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2003. – 52 с.
5. Галдин, Н.С. Рабочее оборудование ударного действия для уплотнения грунта трамбованием [Электронный ресурс] : монография / Н.С. Галдин ; СибАДИ, кафедра ПТТ-МиГ. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2016. – 104 с.
6. Гидропневмоударные системы исполнительных органов горных и строительно-дорожных машин / А.С. Сагинов, А.Ф. Кичигин, А.Г. Лазуткин, И.А. Янцен. – М. : Машиностроение, 1980. – 200 с.
7. Машины для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов / С.А. Варганов, Г.С. Андреев, В.Я. Балакирев и др. – М. : Машиностроение, 1981. – 240 с.
8. Тарасов, В.Н. Теория удара в строительстве и машиностроении / В.Н. Тарасов, И.В. Бояркина, М.В. Коваленко, С.В. Кузнецов, И.Ф. Шлегель. – М. : Изд-во АСВ, 2006. – 336 с.
9. Тарасов, В.Н. Расчет параметров трамбующих рабочих органов / В.Н. Тарасов, Н.С. Галдин // Строительные и дорожные машины. – 2003. – № 3. – С. 34 – 36.
10. Федоров, Д.И. Экскаваторные ковши активного действия / Д.И. Федоров, И.А. Недорезов, В.Г. Тайц, А.И. Федулов. – М. : Транспорт, 1974. – 224 с.
11. Федулов, А.И. Ударное уплотнение грунтов / А.И. Федулов, Р.А. Иванов, В.В. Пучков. – Новосибирск : ИГД СО АН СССР, 1983. – 118 с.

12. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Высш. школа, 1979. – 272 с.

13. Хархута, Н.Я. Машины для уплотнения грунтов. Теория, расчет и конструкции / Н.Я. Хархута. – М.: Машиностроение, 1973. – 176 с.

14. Янцен, И.А. Основы теории и конструирования гидropневмоударников / И.А. Янцен, Д.Н. Ешуткин, В.В. Бородин. – Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1977. – 246 с.

GROUND SEALING EQUIPMENT ON THE BASIS OF HYDRAULIC IMPACT DEVICES

N.S. Galdin

Abstract. A tamping – an effective way of soil compaction. At a tamping the ground is daded at the expense of a tool impact energy. Hinged ground sealing the equipment to excavators hydrostamps on the basis of hydraulic impact devices are perspectiv. Data about ground sealing equipment on the basis of hydraulic impact devices are resulted. Power indicators (energy, capacity of individual blow) hydropneumatic impact devices depend on speed mobile part and its such design data, as weight, course size mobile part, pressure of gymnastics of gas of the pneumoaccumulator. Dependences of mass of loose ports and an impact energy from width of a daded surface soil and contact voltages on a ground surface are presented.

Keywords: ground sealing, a tamping, the hydraulic impact devices.

REFERENCES

1. Alimov O. D. Hydraulic vibroudarnye systems / O.D.Alimov, S.A.Basov. – M: the Science, 1990. – 352.

2. Arhipenko A.P. Hydraulic shock machines /A.P.Arhipenko, A.I.Fedulov. – Novosibirsk: IGD WITH AN the USSR, 1991. – 108.

3. Galdin, N.S. Automiz simulation of the hydropercussion equipment for grapple dredgers: the monography / N.S.Galdin, I.A.Semenova. – Omsk: SibADI, 2008. – 101.

4. Galdin, N.S. Dipper of active act for excavators: the manual / N.S.Galdin, E.A.Bedrina. – Omsk: SibADI, 2003. – 52.

5. Galdin, N.S. The working equipment of a percussion for sealing of a ground by a tamping: the monography / N.S.Galdin. – Omsk: SibADI, 2016. – 104.

6. Gidropnevmodarnye systems of executive powers of mountain and building-road machines / A.S. Saginov, A.F. Kichigin, A.G. Lazutkin, I.A. Jantsen. – M: Engineering industry, 1980. – 200.

7. Machines for soil compaction and road-building materials / S.A.Varganov, G.S.Andreev, V.J.Balakirev, etc. – M: Engineering industry, 1981. – 240.

8. Tarasov, V.N. Teorija of blow in building and engineering industry / V.N. Tarasov, I.V. Bojarkina, M.V. Kovalenko, S.V. Kuznechov, I.F. Shlegel. – M: Publishing house ASV, 2006. – 336.

9. Tarasov, V.N. Raschet of parametres of tamping tools / V.N. Tarasov, N.S. Galdin / Building and road-making machines. – 2003. – № 3. – Page. 34 – 36.

10. Feodors D.I. Dipper of active act for excavators / D.I.Fedorov, I.A.Nedorezov, V.G.Tajts, A.I.Fedulov. – M: the Carrier, 1974. – 224.

11. Fedulov A.I. Shock soil compaction / A.I.Fedulov, R.A.Ivanov, V.V.Puchkov. – Novosibirsk: IGD WITH AN the USSR, 1983. – 118.

12. Tsytovich N.A. Soil mechanics / N.A.Tsytovich. – M: Vyssh. School, 1979. – 272.

13. Harhuta, N.J. Machines for soil compaction. The theory, calculation and constructions / N.J. Harhuta. – M: Engineering industry, 1973. – 176.

14. Jantsen, I.A. Fundamental of the theory and disign of hydropneumatic impact tools / I.A. Jantsen, D.N. Eshutkin, V.V. Borodin. – Kemerovo: the Kemerovo book publishing house, 1977. – 246.

Галдин Николай Семенович (Россия, Омск) – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод» Сибирский государственный автомобильно-дорожной университет. Основное направление научных исследований – теория и проектирование технических систем. Имеет более 240 опубликованных работ. E-mail: galdin_ns@sibadi.org.

Galdin Nikolay Semenovich (Russian Federation, Omsk) – Dr.Sci.Tech. Professor. Managing faculty «Hoisting-and-transport, traction machines and a hydrodrive». Federal State Budget

Educational Institution of Higher Vocational Training «The Siberian Automobile and Highway University (SibADI)».

УДК 621.878.23

РАСЧЕТ УСИЛИЙ КОПАНИЯ РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ БУЛЬДОЗЕРА

А.И. Демиденко, К.Ю. Гатыч
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В работе рассмотрена схема взаимодействия рабочего оборудования бульдозера, позволяющая повысить производительность, за счет захвата и транспортирования дополнительным отвалом сразу двух призм волочения. Рассмотрен процесс взаимодействия дополнительного отвала бульдозера с ковшом, составлена расчетная схема и получены аналитические зависимости для определения сопротивления копанью дополнительным отвалом и его закрывания. Получен график зависимости усилия на штоке гидроцилиндра при копании дополнительным отвалом от хода штока.

Ключевые слова: бульдозер, дополнительный отвал, сопротивление копанью, расчет усилий.

ВВЕДЕНИЕ

С целью увеличения эффективности бульдозерного агрегата предложена новая конструкция рабочего оборудования, которая позволит увеличить объем разрабатываемого и транспортируемого грунта. Повышение эффективности происходит за счёт увеличения объема транспортируемого грунта, так как весь перемещаемый грунт складывается из призмы волочения, формируемой дополнительным отвалом, и из объема грунта в так называемом ковше, сформированном режущим днищем и двумя боковыми стенками, прикрепленными к тыльной части дополнительного отвала. Энергоёмкость снижается, поскольку часть объема грунта перемещается в ковше, без трения по грунтовому основанию, что значительно снижает силы сопротивления, возникающие при работе бульдозерного агрегата [1,5].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ КОПАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОТВАЛОМ С КОВШОМ

Центр поворота ковша (точка О) определяется как центр дуги окружности, которыми являются средние линии пазов криволинейных кронштейнов (рис. 1). Суммарный момент

сопротивления копанью ковшом, относительно центра поворота ковша, определяется как сумма действующих моментов (рис. 1, а):

$$M_{\text{сop}} = M_{\text{кoп}} + M_{\text{зaп}} + M_{\text{зp}} + M_{\text{к}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{кoп}}$ – момент сопротивления копанью, кН·м; $M_{\text{зaп}}$ – момент сопротивления заполнению ковша, кН·м; $M_{\text{зp}}$ – грузовой момент, определяемый весом перемещаемого грунта в ковше, кН·м; $M_{\text{к}}$ – грузовой момент, определяемый весом дополнительного отвала с ковшом, кН·м.

При построении расчетной схемы принимаем допущение, что сектор выкопанного грунта 1 перемещается в сектор 2 (рис. 1, б). Свободная поверхность призмы волочения О1А переместится в линию О1А1, повернувшись вокруг точки О1 так, чтобы площадь сектора 2 была равна сектору 1 умноженному на коэффициент разрыхления κ_p .

Площадь сектора 2 определяется по формуле

$$S_2 = S_1 \cdot \kappa_p, \quad (2)$$

где S_1 – площадь выкопанного грунта, м²; κ_p – коэффициент разрыхления грунта [2].