

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, сформированным 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):

$$M_{\text{сопр}} = M_{\text{коп}} + M_{\text{зан}} + M_{\text{гр}} + M_{\text{к}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{коп}}$ – момент сопротивления копанью, кН·м; $M_{\text{зан}}$ – момент сопротивления заполнению ковша, кН·м; $M_{\text{гр}}$ – 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].

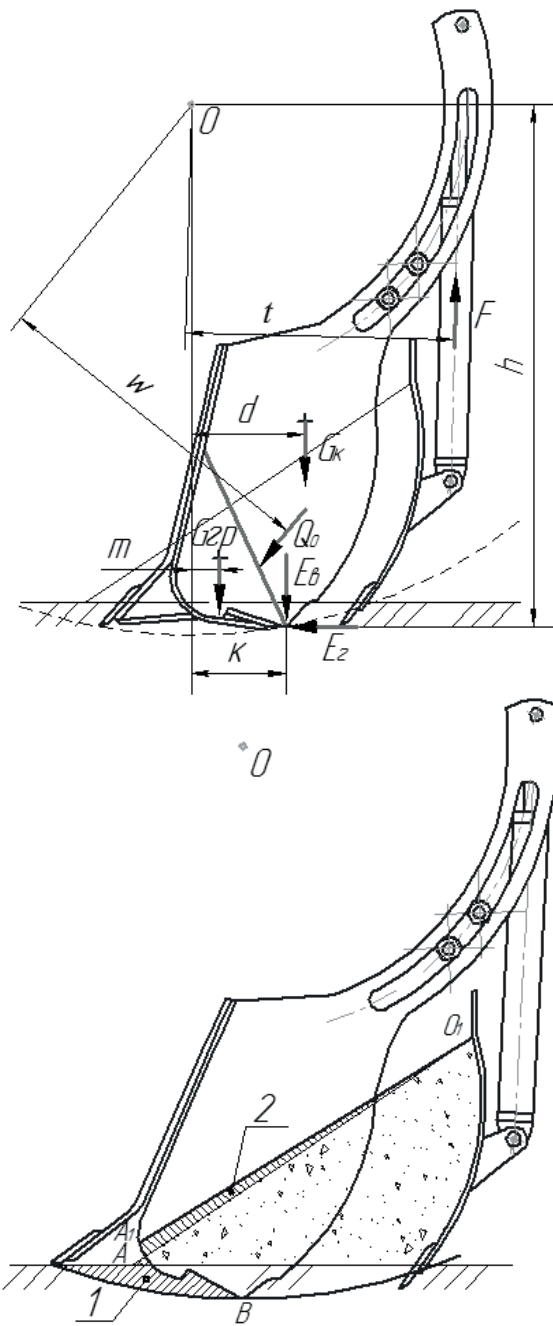


Рисунок 1 – Схемы, используемые при расчете: а – схема для определения усилия на штоке гидроцилиндра, при копании грунта дополнительным отвалом; б – схема размещения выкопанного грунта в ковше

Днище ковша имеет криволинейную поверхность. По аналогии с задней стенкой ковша погрузчика в работе Мещерякова В.И. [4] принимаем, что при внедрении ковша по криволинейной поверхности днища происходит уплотнение материала (зона N), а также происходит уплотнение материала возле основ-

ного отвала (зона Z). Уплотненный материал создает ограждающие плоскости АВ и CF, а также плоскость ВС на которые оказывается пассивное давление сыпучего тела призмы ABCF (рис. 2).

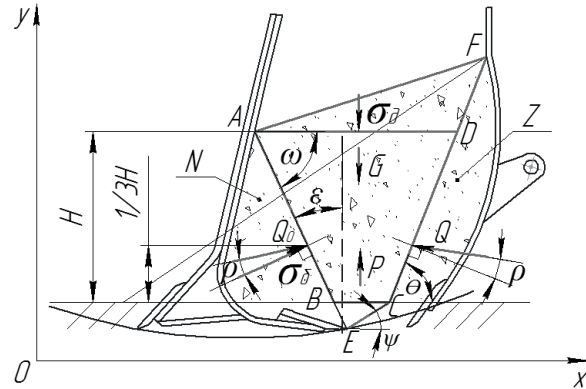


Рисунок 2 – Схема для определения усилий закрытия дополнительного отвала с ковшем

Если предположить, что ограждающая плоскость под действием каких-либо сил получит смещение в сторону сыпучего тела, то естественно ожидать, что некоторая часть сыпучего тела сдвинется и приподнимется вверх. Распространяя на этот случай теорию Кулона о том, что сдвиг сыпучего тела вообще происходит по некоторой плоскости, что сыпучее тело сдвигается, приняв как бы форму затвердевшего клина, мы можем принять, что в этом случае давление Q_0 со стороны ограждающей плоскости АВ уравнивается весом G призмы выпирания, сопротивлением Q , имеющимся по плоскости CD выпирания и давлением продвижения срезаемой стружки P плоскостью BE. Давление Q_0 приложено на $1/3$ от высоты плоскости АВ [6].

Угол плоскости сдвига ЕС к горизонтали (рис. 2) определяется по формуле

$$\psi = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}, \quad (3)$$

где ρ - угол внутреннего трения грунта.

Момент сопротивления заполнению ковша может быть определен следующим образом:

$$M_{зан} = Q_0 \cdot w, \quad (4)$$

где Q_0 – пассивное давление сыпучего тела на ограждающую плоскость АЕ, кН; w - плечо сопротивления Q_0 , м;

Пассивное давление сыпучего тела на ограждающую плоскость АЕ:

$$\begin{aligned} Q_0 &= \frac{\sigma_{\delta}}{\cos \rho} = \frac{1}{\cos \rho} \int_0^H \sigma_{\delta} \frac{dz}{\sin \omega} = \\ &= \frac{1}{\cos \rho} \int_0^H n \cdot \sigma_{\delta} \frac{dz}{\sin \omega} = \\ &= \frac{1}{\cos \rho} \int_0^H n \cdot \gamma_z \cdot z \frac{dz}{\sin \omega} = \\ &= \frac{n \gamma_z H^2}{2 \cos \rho \sin \omega}, \end{aligned} \quad (5)$$

где σ_{δ} – действующее давление, кН, $\sigma_{\delta} = \gamma_z \cdot z$ [4]; $\gamma_{z.n.c}$ – объемный вес грунта нарушенной структуры, кН/м³, $\gamma_{z.n.c} = \gamma_z / k_p$; z – высота столба сыпучего материала над элементарной площадкой, м; σ_{δ} – боковое давление на площадку АВ, кН; ω – угол между горизонтальной площадкой AD и площадкой АВ; m – коэффициент подвижности; n – коэффициент бокового давления.

Коэффициент бокового давления n зависит от угла наклона ω площадки AD действующего давления σ_{δ} к площадке АВ бокового давления σ_{δ} [8].

Коэффициент бокового давления [8]:

$$n = \frac{\sigma_{\delta}}{\sigma_{\delta}} = \frac{tg^2 \omega + m}{1 + m \cdot tg^2 \omega}, \quad (6)$$

где m коэффициент подвижности [8]:

$$m = tg^2 \frac{90^\circ - \rho}{2}. \quad (7)$$

Для определения давления продвижения срезанной стружки P необходимо составить уравнения равновесия, спроецировав силы P , G , Q_0 , Q на оси x , y (рис. 2).

Проецируем силы на оси x , y :

$$\begin{aligned} \Sigma_x &= -Q \cdot \sin \rho \cdot \cos \theta - Q \cdot \cos \rho \cdot \\ &\cdot \sin \theta + Q_0 \cdot \cos \rho \cdot \cos \varepsilon + Q_0 \cdot \\ &\cdot \sin \rho \cdot \sin \varepsilon = 0, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \Sigma_y &= -G + P - Q_0 \cdot \sin \rho \cdot \cos \varepsilon + \\ &+ Q_0 \cdot \cos \rho \cdot \sin \varepsilon + Q \cdot \cos \rho \cdot \\ &\cdot \cos \theta - Q \cdot \sin \rho \cdot \sin \theta = \\ &= -G + P - Q_0 (\sin \rho \cdot \cos \varepsilon + \cos \rho \cdot \sin \varepsilon) + \\ &+ Q (\cos \rho \cdot \cos \theta - \sin \rho \cdot \sin \theta) = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

Из уравнения (8) получим соотношение

$$Q = Q_0 \left(\frac{\cos \rho \cdot \cos \varepsilon + \sin \rho \cdot \sin \varepsilon}{\sin \rho \cdot \cos \theta + \cos \rho \cdot \sin \theta} \right), \quad (10)$$

которое подставляю в уравнение (9):

$$\begin{aligned} \Sigma_y &= -G + P - \\ &- Q_0 (\sin \rho \cdot \cos \varepsilon + \cos \rho \cdot \sin \varepsilon) + \\ &+ Q_0 \left(\frac{\cos \rho \cdot \cos \varepsilon + \sin \rho \cdot \sin \varepsilon}{\sin \rho \cdot \cos \theta + \cos \rho \cdot \sin \theta} \right) \times \\ &\times (\cos \rho \cdot \cos \theta - \sin \rho \cdot \sin \theta) = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Из полученного выражения (11) находим значение P :

$$P = G - Q_0 \frac{\cos(2\rho + \theta - \varepsilon)}{\sin(\rho + \theta)}. \quad (12)$$

Вертикальная равномерно распределенная пригрузка q на участке ВС определяется по формуле [2]:

$$q = \frac{P}{BC}. \quad (13)$$

Выражение момента сопротивления копанью, возникающего при взаимодействии ножа с грунтом, определяется зависимостью:

$$M_{кон} = E_z h + E_g k, \quad (14)$$

где E_z – горизонтальная составляющая сопротивления грунта сколу, кН; E_g – верти-

РАЗДЕЛ I.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

кальная составляющая сопротивления грунта сколу, кН; h - плечо сопротивления E_2 , м; κ - плечо сопротивления E_6 , м;

Горизонтальная составляющая грунта сколу [2,7]:

$$E_2 = M_1 b \left[K_1 \left(\frac{\gamma_2}{2} h^2 + qh + Ch \operatorname{ctg} \rho \right) - Ch \operatorname{ctg} \rho \right], \quad (15)$$

где b - ширина резания (ширина ковша), м;

$$\beta = 90^\circ - \delta; \quad (16)$$

$$M_1 = 1 + \operatorname{tg} \varphi_1 \operatorname{tg} \beta; \quad (17)$$

$$K_1 = \frac{\cos \rho_0 (\cos \rho_0 + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \rho_0}) (\sin \rho \cos \varphi_1 + \sqrt{1 - \sin^2 \rho \cdot \sin^2 \varphi_1})^2}{\cos^2 \rho (1 - \sin \rho)}; \quad (18)$$

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{2} + \beta - \frac{\rho_0}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \rho_0}{\sin \rho}; \quad (19)$$

ρ - угол внутреннего трения грунта; ρ_0 - угол внешнего трения грунта; δ - угол резания плоскостью ВЕ; β - угол заострения ножа; C - коэффициент сцепления грунта; h - толщина срезаемой стружки.

Вертикальная составляющая грунта сколу [7]:

$$E_6 = M_2 b \left[K_1 \left(\frac{\gamma_2}{2} h^2 + qh + Ch \operatorname{ctg} \rho \right) - Ch \operatorname{ctg} \rho \right], \quad (20)$$

$$M_2 = \operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \varphi_1. \quad (21)$$

Грузовой момент, определяемый весом перемещаемого грунта в ковше дополнительного отвала:

$$M_{gp} = G_2 \cdot m, \quad (22)$$

где G_2 - вес грунта в ковше дополнительного отвала, кН; m - плечо, м.

Принимаем, что вес грунта G_2 приложен в центре тяжести сыпучего тела (зона N).

Вес грунта G_2 в ковше:

$$G_2 = \gamma_{z.n.c} S b, \quad (23)$$

где S - площадь грунта в ковше (зона N), м².

Грузовой момент, определяемый весом поднимаемого дополнительного отвала с ковшом:

$$M_k = G_k \cdot d, \quad (24)$$

где G_k - вес дополнительного отвала с ковшом, кН; d - плечо, м;

Принимаем, что вес G_k приложен в центре тяжести дополнительного отвала с ковшом.

Тогда усилие на штоке гидроцилиндра, при копании грунта дополнительным отвалом с ковшом, может быть записано следующим образом:

$$F = \frac{G_{2p} \cdot m + G_k \cdot d + Q_0 \cdot w + E_6 \cdot \kappa + E_2 \cdot h}{t} \quad (25)$$

где t – плечо силы F , м.

Определение усилия на штоке гидроцилиндра доводится до численных решений, характеризуемых следующими данными: h – толщина срезаемой стружки дополнительным отвалом (изменяется в зависимости от поворота отвала), $h = 0 \div 0,146$ м; ρ – угол внутреннего трения грунта, $\rho = 26,5^\circ$; ρ_0 – угол внешнего трения грунта, $\rho_0 = 26^\circ$; δ – угол резания, $\delta = 32^\circ \div 71^\circ$; C – коэффициент сцепления грунта, $C = 20$ кН/м²; γ_2 – объемный вес грунта в плотном теле, $\gamma_2 = 20,5$ кН/м³; b – ширина резания (ширина дополнительного отвала), $b = 2,65$ м; κ_p – коэффициент разрыхления грунта, $\kappa_p = 1,2$; высота дополнительного отвала 1,2 м; объем ковша дополнительного отвала 2,36 м².

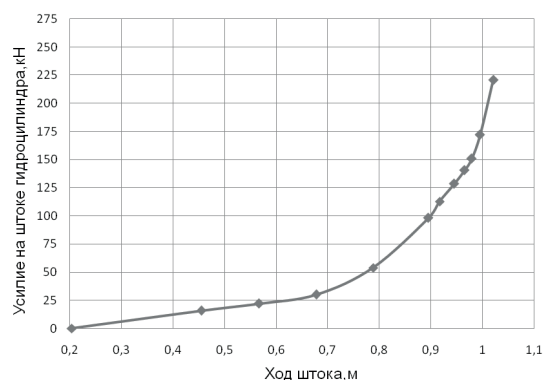


Рисунок 3 – График зависимости усилия на штоке гидроцилиндра от хода штока

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана расчетная схема процесса взаимодействия дополнительного отвала с ковшом при его закрывании. Получены аналитические зависимости, позволяющие определить усилия на штоке гидроцилиндра дополнительного отвала с ковшом в зависимости от хода штока этого гидроцилиндра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гатыч, К.Ю. Повышение эффективности бульдозера при земляных работах / А.И. Демиденко, К.Ю. Гатыч // Техника и технологии строительства. – 2016. – № 8. – С. 45-50.
2. Алексеева, Т.В. Дорожные машины / Т.В. Алексеева, К.А. Артемьев, А.А. Бромберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 504 с.
3. Артемьев, К.А. Основы теории копания грунта скреперами / Артемьев, К.А. – М.: Машгиз, 1963. – 128 с.
4. Мещеряков, В.И. Исследование процесса черпания ковшевым захватным органом погрузчика совмещенным способом: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / В. И. Мещеряков ; науч. рук.: К. А. Артемьев, С. В. Абрамов ; СибАДИ. – Омск, 1976. – 24 с.
5. Пат. 161 882 РФ: МПК Е 02 F 3/76: Рабочее оборудование бульдозера / А.И. Демиденко, К.Ю. Гатыч; СибАДИ. – № 2015149170/03; заявл. 16.11.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 13.
6. Прокофьев, И.П. Теория сыпучих тел / Прокофьев, И.П. – М.: Госстройиздат, 1934. – 111 с.
7. Артемьев, К.А. Теория резания грунтов землеройно-транспортными машинами: учеб. пособие / Артемьев, К.А. – Омск: Омпи, 1989. – 80 с.
8. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Зенков, Р.Л. – М.: Машгиз, 1952. – 215 с.

CALCULATION OF EFFORTS OF DIGGING BY THE WORKING EQUIPMENT OF THE BULLDOZER

A.I. Demidenko, K.Yu. Gatykh

Abstract: In the work a new design of the working equipment of the bulldozer is considered, which makes it possible to increase productivity, by capturing and transporting an extra blade of two pile at once. In this connection, it was necessary to compile a design scheme for determining the resistance to digging an extra blade. Was received the graph of the force dependence on the rod of the hydraulic cylinder from the stroke of the rod, when digging an additional blade.

Keywords: bulldozer, extra blade, digging resistance, analysis of forces.

REFERENCES

1. Gatyч K.Yu., Demidenko A.I. Increasing effectiveness of bulldozer earthmoving. Engineering and technology of construction, 2016, no 8, pp. 45-50.
2. Alekseeva T.V., Artemyev K.A., Bromberg A.A. Road machines. – M.: Mechanical engineering, 1972. – 504 p.
3. Artemyev K.A. Fundamentals of the theory of digging soil with scrapers. – M.: Mashgiz, 1963. – 128 p.
4. Meshcheryakov V.I. Investigation of the process of scooping the bucket gripper of the loader by a combined method :abstract. dis ... cand. tech. sciences / V.I. Meshcheryakov. SibADI. – Omsk, 1976. 24 p.
5. Demidenko A.I., Gatyч K.Yu. Bulldozer working equipment. Patent RF, no 2015149170/03, 2016.
6. Prokofiev, I.P. Theory of loose bodies. – M.: Gosstroyizdat, 1934. – 111 p.
7. Artemyev K.A. Theory of cutting soils by digging and transporting machines: Textbook. –

Omsk: Ompi, 1989. – 80 p.

8. Zenkov, R.L. Mechanics of bulk cargoes. – M.: Mashgiz, 1952. – 215 p.

Демиденко Анатолий Иванович (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, профессор ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, д.5, e-mail: demidenko_ai@sibadi.org).

Гатыч Константин Юрьевич (Россия, г. Омск) – аспирант гр. МАШ-15АСП1, ФГБОУ ВО «СибАДИ», (644080, г. Омск, пр. Мира, д.5, e-mail: konstantin484@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Demidenko Anatoliy Ivanovich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, professor, FSBEI HE «SibADI» (644080, Omsk, Mira Ave., 5; e-mail: demidenko_ai@sibadi.org).

Gatyч Konstantin Yuryevich (Russian Federation, Omsk) – postgraduate student group MASH-15ASP1 FSBEI HE «SibADI», (644080, Omsk, Mira Ave., 5; e-mail: konstantin484@mail.ru).

УДК 621.86

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗГОНА И ТОРМОЖЕНИЯ ГРУЗА МОСТОВОГО КРАНА В РЕЖИМЕ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ

М.С. Корытов, В.С. Щербаков

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. Для динамической системы плоского маятника с затуханием колебаний, описывающей колебания груза мостового крана на гибком канатном подвесе в отдельной вертикальной плоскости, предложено использовать синусоидальную функцию со смещением для задания временной зависимости угла отклонения грузового каната от гравитационной вертикали. Варьирование времени разгона с изменением угла отклонения каната по предложенной аналитической зависимости позволяет достичь различных скоростей перемещения груза в режиме отсутствия колебаний груза, а также различных максимальных ускорений точки подвеса. Получено аналитическое решение задачи гашения остаточных колебаний груза мостового крана, возникающих после полного разгона или торможения точки подвеса груза на грузовой тележке. Для вывода зависимостей использован способ пересчета известных аналитических зависимостей угла отклонения грузового каната мостового крана от гравитационной вертикали в зависимости от ускорения, скорости и перемещения точки подвеса груза.

Ключевые слова: мостовой кран, гашение колебаний, раскачивание, синусоидальная функция

ВВЕДЕНИЕ

Перемещение грузов на гибком подвесе

канатного типа, которое осуществляют, в частности, опорные однобалочные и двухбалочные мостовые краны (МК) общего назначения,