

ВЛИЯНИЕ ВОДНОЙ СМАЗКИ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ УСИЛИЯ КОПАНИЯ ГРУНТОВ КОВШОМ ДРАГЛАЙНА

На основе расчетных схем взаимодействия ковшей драглайна с грунтом при наличии водной среды разработаны теоретические зависимости, описывающие вертикальные составляющие сопротивления копанию грунтов ковшами драглайна под гидростатическим давлением.

Определение вертикальной составляющей сопротивления копанию грунта ковшом драглайна в подводной среде имеет важное значение в связи с особенностью процесса копания грунта драглайном. Как известно [1], внедрение ковша драглайна в грунт происходит под действием собственного веса ковша, а при разработке грунтов в подводной среде за счет действия подъемной

силы воды вес ковша снижается, что уменьшает внедрение ковша в грунт. Такое влияние водной среды на процесс внедрения ковша в грунт с учетом выталкивающей составляющей водной среды обуславливает необходимость разработать математических моделей определения вертикальной (нормальной) составляющей сопротивления копанью грунтов ковшом драглайна при воздействия гидростатического давления водной среды.

Экспериментальными исследованиями установлена возможность снижения усилий копания грунтов рабочими органами землеройных машин под гидростатическим давлением [2] как касательной горизонтальной (тангенциальной), так и вертикальной (нормальной) составляющих. Необходимость изучения вертикальной составляющей усилий копания грунтов в подводных условиях обусловлена возможным перераспреде-

лением веса ковшей драглайнов и изменением их тягово-сцепных характеристик.

На рисунке представлена расчетная схема для определения вертикальной и горизонтальной составляющих усилия копания грунтов ковшом драглайна в подводных условиях на основе методики сыпучей среды со сцеплением [3].

В общем виде вертикальную составляющую усилия копания грунтов можно представить в виде:

$$P_{вер} = P_{вер.рез} + P_{вер.тр} + P_{вер.зат}, \quad (1)$$

где $P_{вер.рез}$ – вертикальная составляющая сопротивления резанию грунтов; $P_{вер.тр}$ – вертикальная составляющая силы трения пласта грунта по ножу ковша драглайна; $P_{вер.зат}$ – вертикальная составляющая силы резания грунта, возникающей от затупления режущей кромки отвала.

Вертикальная составляющая сопротивления

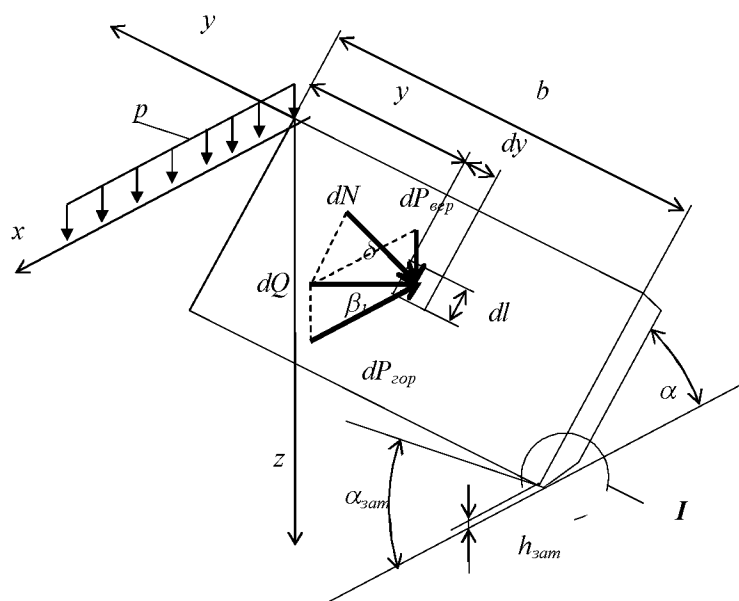
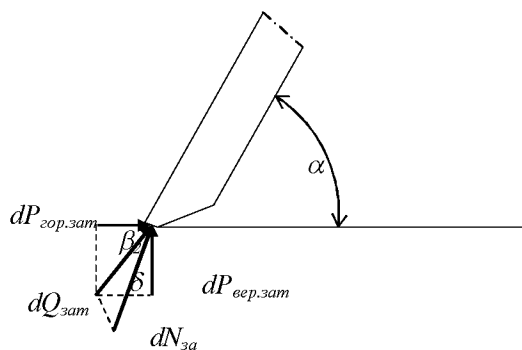


Схема взаимодействия рабочего органа драглайна с грунтом для определения вертикальную составляющую усилия копания

I



резанию грунта ковшом драглайна в подводных условиях в соответствии с рисунком можно определить в следующем порядке. Нормальная составляющая сила резания относительно рабочей поверхности ножа драглайна:

$$dN = \sigma_n \cdot dl \cdot dy = \sigma_n \cdot \frac{dz}{\sin \alpha} \cdot dy,$$

где y, z – текущие координаты; l – элементарный размер площадки рабочей поверхности ножа; σ_n – величина нормального давления на нож драглайна, определяемая на основе теории механики грунтов [4]

$$\sigma_n = A_1 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \gamma_{zp} \cdot h + C_o \cdot ctg \varphi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + q \right].$$

Пригрузка q на участке резания грунта возникает из-за давления пласта грунта на нож драглайна и действием гидростатического давления p :

$$q = \frac{G_{nl}}{F} + p,$$

где G_{nl} – сила тяжести пласта грунта

$$G_{nl} = b \cdot H_{ковш} \cdot h \cdot \gamma_{zp} \cdot k_n \cdot k_{\psi},$$

Тогда пригрузка

$$q = H_{ковш} \cdot \gamma_{zp} \cdot k_n + p,$$

где $k_{\psi} = ctg \gamma + ctg \alpha$ – коэффициент увеличения ширины пласта, зависящий от угла внутреннего трения и угла резания; k_n – коэффициент наполнения ковша, $H_{ковш}$ – высота ковша; b – ширина резания; h – глубина резания; γ_{zp} – объемная масса грунта; C_o – удельное сцепление грунта; j – угол внутреннего трения грунта; F – площадь действия пригрузки на рабочую поверхность ножа драглайна; A_1 – коэффициент, зависящий от угла внутреннего трения и угла резания [4]

$$A_1 = \frac{1 - \sin \varphi \cdot \cos 2\alpha}{1 - \sin \varphi}.$$

Результирующая вертикальная сила сопротивления резанию:

$$dP_{вер} = dQ \cdot \sin \beta,$$

где $\beta = 90^\circ - (\alpha - \delta)$.

Тогда

$$dQ = \frac{dN}{\cos \delta},$$

что учитывает величину сил трения грунта по передней (рабочей) поверхности режущего ножа

драглайна.

При интегрировании по длине ножа b и глубине копания h грунта получим

$$\begin{aligned} P_{вер.рез} &= \int_0^h \int_0^b (ctg \alpha - tg \delta) \cdot \sigma_n \cdot dz \cdot dy = \\ &= (ctg \alpha - tg \delta) \cdot b \cdot h \cdot A_1 \vartheta \\ &\vartheta \left[\frac{1}{2} \cdot \gamma_{zp} \cdot h + C_o \cdot ctg \varphi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + q \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

Вертикальная составляющая усилия копания от сил трения, возникающих от движения грунтового пласта по рабочей поверхности ножа драглайна определяется по следующему порядку. Трение грунтового пласта об рабочую поверхность ножа драглайна определяется давлением на пласт со стороны массива грунта и коэффициентом трения грунта по стали:

$$P_{вер.тр} = \sigma_n \cdot b \cdot H_{ковш} \cdot tg \delta \cdot \sin \alpha,$$

или

$$P_{вер.тр} = A_1 \cdot H_{ковш} \cdot b \cdot tg \delta \cdot \sin \alpha \vartheta$$

$$\vartheta \left[\frac{1}{2} \cdot \gamma_{zp} \cdot h + C_o \cdot ctg \varphi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + q \right]. \quad (3)$$

На основе расчетной схемы (рис.) для определения силы сопротивления, возникающей от затупления режущей кромки ножа драглайна, определим необходимые параметры:

$$dP_{вер.зат} = dQ_{зат} \cdot \sin \beta_2,$$

где $\beta_2 = 90^\circ - (\alpha_{зат} + \delta)$

или с учетом $dQ_{зат}$

$$dP_{вер.зат} = \frac{\sin \beta_1}{\sin \alpha_{зат} - \cos \delta} \cdot \sigma_{n1} dz,$$

$\sin \beta_1 = \cos(\alpha + \delta) = \cos \alpha_{зат} \cdot \cos \delta - \sin \alpha_{зат} \cdot \sin \delta$, где σ_{n1} – нормальное давление на кромку затупления ножа драглайна

$$\sigma_{n1} = A_2 \left[\gamma_{zp} \cdot h_{зат} + C_o \cdot ctg \varphi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_2} \right) + p \right],$$

где A_2 – коэффициент, определяемый в зависимости от угла затупления [4]

$$A_2 = \frac{\cos \delta \cdot \left(\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \delta} \right)}{1 - \sin \varphi} \vartheta$$

$$\vartheta \exp[(\pi - 2\alpha_o + \delta + \varphi) \cdot tg \varphi]$$

$$dP_{\text{вер.зат}} = (ctg\alpha_{\text{зат}} - tg\delta) \cdot \sigma_{\text{нл}} \cdot dy \cdot dz.$$

После интегрирования получаем:

$$P_{\text{вер.зат}} = A_2 \cdot b \cdot h_{\text{зат}} \cdot (ctg\alpha_{\text{зат}} - tg\delta) \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{зп}} \cdot h_{\text{зат}} + C_0 \cdot ctg\varphi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_2}\right) + p \right]. \quad (4)$$

В конечном виде математическая модель определения вертикальной составляющей усилия копания грунтов ковшом драглайна под гидростатическим давлением после подстановки составляющих в уравнение (1) и с учетом (2), (3) и (4) имеет вид:

$$P_{\text{вер}} = (ctg\alpha - tg\delta) \cdot b \cdot h \cdot A_1 \cdot \Theta \left[\frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{зп}} \cdot h + C_0 \cdot ctg\varphi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_1}\right) + q \right] + A_1 \cdot H_{\text{ковш}} \cdot \Theta \cdot b \cdot tg\delta \cdot \sin\alpha \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{зп}} \cdot h + C_0 \cdot ctg\varphi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_1}\right) + q \right] + A_2 \cdot b \cdot h_{\text{зат}} \cdot (ctg\alpha_{\text{зат}} - tg\delta) \cdot \Theta \left[\frac{1}{2} \cdot \gamma_{\text{зп}} \cdot h_{\text{зат}} + C_0 \cdot ctg\varphi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_2}\right) + p \right],$$

где b – длина рабочего органа; $H_{\text{ковш}}$ – высота ковша драглайна; h – глубина резания грунта; $\gamma_{\text{зп}}$ и $\gamma_{\text{п}}$ – плотность грунта естественного залегания и разрыхленного грунта; C_0 – удельное сцепление грунта; $p = \gamma_{\text{в}} \cdot H$ – гидростатическое давление водной среды, действующая на поверхность грунта и рабочего органа; $\gamma_{\text{в}}$ – плотность воды; H – глубина погружения рабочего органа в воду; α – угол резания; j – угол внутреннего трения грунта; δ – угол внешнего трения грунта; γ – угол сдвига грунта; $\alpha_{\text{зат}}$ – угол затупления режущей кромки ножа драглайна; $h_{\text{зат}}$ – высота затупления режущей кромки;

Проверка полученных зависимостей прове-

дена для следующих условий. Грунт суглинок: $C_0 = 600 \text{ кг/м}^2$; $\gamma_{\text{гп}} = 2000 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{п}} = 1670 \text{ кг/м}^3$; $j = 34^\circ$. Ковш имеет следующие [5] параметры: $H_{\text{ковш}} = 0,07 \text{ м}$; $b = 0,1 \text{ м}$; $L = 0,22$, $\alpha = 60^\circ$; $\alpha_{\text{зат}} = 40^\circ$; $h_{\text{зат}} = 1,5 \text{ см}$. Угол внешнего трения изменялся в пределах $tg\delta = 0-0,6$.

При отсутствии поступления жидкости в контактирующую поверхность между грунтовым пластом и передней гранью отвала за счет действия гидростатического давления вертикальная составляющая усилия копания направлена снизу вверх, а при обеспечении возможности проникания воды в контактирующую поверхность направление действия вертикальной составляющей меняется и будет направлена сверху вниз. Данный эффект существенно улучшает процесс внедрения ковша в грунт.

Таким образом, предложенная теоретическая зависимость определения вертикальной составляющей усилия копания грунтов ковшом драглайна отражает физическую сущность процесса копания грунта ковшом драглайна в подводных условиях и учитывает водную смазку рабочей поверхности модернизированного ковша драглайна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машины для земляных работ / Ветров Ю.А., Кедров А.А., Кондра А.Ф. и др. Киев: Вища школа, 1981. 384 с.
2. Недорезов И.А., Тургумбаев Ж.Ж. Исследование процесса резания грунтов под гидростатическим давлением // Строительные и дорожные машины. 1979. № 5. С. 8-9.
3. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М.: Физматгиз, 1960. 243 с.
4. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1979. 272 с.
5. Жумаев Ж. Системный анализ процессов копания грунтов ковшовыми рабочими органами землеройных машин, работающих под водой // Вестник НАН РК. Алматы, 2006. № 1. 87 с.

Резюме

Судағы күштің қысымымен пайда болған жүктеме жер қабатын жоғары призма тәрізді жиналудан сақтайды және су астындағы жер қабатының жаңқалары лента түрінде ұңғының жоғарғы жұмыс беттеріне судағы күштің қысымымен қатты жабысып сырғанады.

Summary

It is possible to receive dependence resistance to cutting trips by a knife sailing excavating machine in underwater conditions, when hydrostatic pressure appointed, according to the circuit submitted in figure 2.