

2. Хмара Л.А. Оценка эффективности телескопического рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора. Сб. научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. ПГАСиА. Днепропетровск. 2002. Вып.15. - С. 143-150.
3. Хмара Л.А. Тенденции совершенствования специализированного землеройного оборудования к тракторам и экскаваторам. Сб. научных трудов: Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Вып. 15. Дн-ск: ПГАСиА, 2002 - С. 4-27.
4. Хмара Л.А., Коваленко Р.В. Исследование процесса копания грунта одноковшовым гидравлическим экскаватором с телескопическим рабочим оборудованием. Вестник приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. Днепропетровск: Gaudeamus. 2002. №8. – С. 33-40.
5. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин /Хмара Л.А., Колісник М.П., Станевський В.П. – К.: Будівельник, 1992. – 152 с.
6. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. – М.: Транспорт. 1993. – 383 с.
7. Машины для земляных работ /Под ред. Гаркави Н.Г. – М.: Высш. шк. 1982. – 335 с.
8. Методические указания к выполнению курсового проекта «Одноковшовые гидравлические экскаваторы» к дисциплине «Машины для земляных работ» для студентов механических специальностей /Сост. В.К. Тимошенко, Л.А. Хмара, М.И. Деревянчук, И.А. Кулик. – Днепропетровск: ДИСИ, 1989. – 64 с.

#### **УДК 622.23.05**

**Н. Г. МАЛИЧ, канд. техн. наук., П.В. УДОВИК, инж.**

*Национальная металлургическая академия Украины*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ СРЕДЫ ВАЛЬЦАМИ КАТКОВ**

**Постановка задачи.** Уплотнение грунтов в земляных сооружениях и дорожно-строительных материалов, уложенных в основание дорог и покрытий, является важнейшей операцией дорожного строительства. Эффект уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов зависит от их физико-механических свойств, от механической нагрузки, ее длительности и периодичности, а также от способа ее приложения (постепенная, статическая нагрузка, вибрация или удар).

Уплотнение грунтов, дорожных оснований и покрытий осуществляется дорожно-строительными машинами [1], действие которых основано на использовании давления от массы перекатываемых вальцов катка, имеющих различную форму рабочей поверхности (гладкие, кулачковые, решетчатые, пневмоколесные и т.д.).

Уплотняющее действие катков зависит от максимальных контактных давлений, распределения давлений по площади контакта, размеров поверхности контакта, скорости укатки и числа проходов и др. Поэтому в исследовании ставится задача найти закономерности процесса уплотнения среды катками.

**Основная часть.** Размер и форма катка (площади контакта), определяющие толщину уплотняемого слоя материала, в поперечном сечении могут быть в виде овала, эллипса или прямоугольника. Нагрузка в процессе работы катка направлена по прямой, нормальной к зоне контакта (гладкие вальцы статического и динамического действия), или нормально и тангенциально (осцилляторы) (рис.1.).

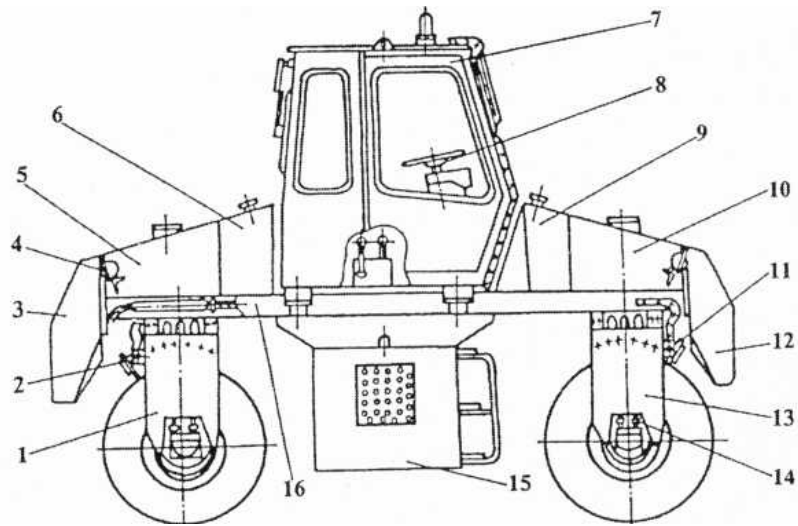
Аналогично рассмотренному [2] случаю контактирования элементов рабочего органа с разрушаемым материалом для анализа напряженного состояния зоны контакта вальца с уплотняемой средой рассмотрено соприкосновение двух тел из однородных и изотропных материалов, ограниченных некоторыми криволинейными поверхностями. Оба тела воспринимают нагрузку, направленную по прямой, нормальной к зоне контакта. При этом валец и среда деформируются, и в этом случае первоначальный контакт переходит в соприкосновение по некоторой поверхности.

Действующие нагрузки предполагаются такими, что в зоне контакта имеют место только упругие деформации. Во всех случаях принималось, что поверхность контакта мала по сравнению с общей поверхностью каждого из соприкасающихся тел. Тогда в общем случае зона контакта представляет собой эллипс или полосу.

Предлагаемая методика [3] расчета напряженного состояния уплотняемой среды при действии контактных нагрузок основывается на общих решениях контактной задачи [4, 5]. В рассматриваемом случае (сжатие упругих тел, ограниченных плавно очерченными поверхностями) определяются: перемещения в вальцах вблизи зоны соприкосновения, в том числе и сближение участков ее, далеко отстоящих от места касания со средой, вдоль направления действия сил; форма и размеры контактной площадки, возникающей при упругом сжатии поверхностей; напряжения в любом сечении вальцов и уплотняемой среды в зоне контакта, подверженном действию контактной деформации. Методика расчета  $p=f(x)$  практически позволяет исследовать форму вальцов произвольной конфигурации при любой схеме приложения внешних сил.

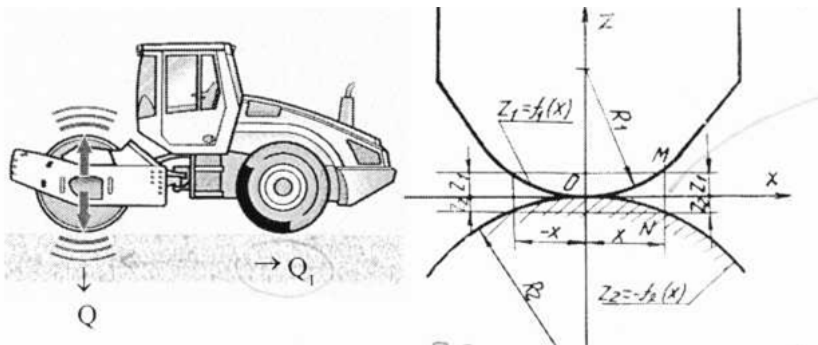
Для одного из общих случаев контактирования соприкасающиеся тела очерчены криволинейными поверхностями и до приложения нагрузки имеют общий контакт в точке (линии).

Принимаем начальную точку касания поверхностей  $z_1=f_1(x)$  и  $z_2=-f_2(x)$  произвольной кривизны в зоне касания за начало координат. В точке контакта имеется общая нормаль и общая касательная к плоскости ХОУ. Все обозначения, относящиеся к вальцам, будем снабжать индексом 1, а величины, относящиеся к среде — индексом 2 (рис.1).



а

До приложения нагрузки между вальцом и средой (исключая точку касания) имеет место зазор  $z_1 + z_2 = f_1(x) + f_2(x)$ , а в точке касания  $f_1(x) + f_2(x)=0$ . При нагружении вальца он приобретает поступательное перемещение в направлении оси  $z$ .



б

в

Для некоторой точки  $M$  в общем случае появятся следующие перемещения:  $\delta_1$  - сближение (перемещение недеформированной части вальца за счет деформации зоны контакта);  $W_1$  и  $U_1$  — упругие перемещения в направлении осей  $x$  и  $z$ . Аналогично для точки  $N$  :  $\delta_2$ ,  $W_2$  и  $U_2$ . Если точки  $M$  и  $N$  после деформации вальца и поверхности среды совпадут в точке  $M_1$  с абсциссой  $x$ , то для ординаты этой точки можно записать, с одной стороны,  $f_1(x-U_1)+W_1-\delta_1$  и, с другой (со сто-

Рис. 1. а - Самоходный каток статического; б - динамического действия; в - схема вальца с уплотняемой средой: 1, 13 – вальцы; 2, 11 – скребки; 3, 12 – груз; 4 – фара; 5, 10 – баки воды; 6 – топливный бак; 7 – кабина машиниста; 8 – рулевое управление; 9 – бак рабочей жидкости; 14 – гидросистема; 15 – силовая установка; 16 – рама.

роны среды)  $-f_2(x+U_2) - W_2 + \delta_2$ , т.е. должно быть равенство  $f_1(x-U_1) + W_1 - \delta_1 = -f_2(x+U_2) - W_2 + \delta_2$ . Ввиду малости упругих перемещений для точек, которые при нагружении приходят в соприкосновение вальца с поверхностью среды, можно записать:  $W_1 + W_2 = \delta - f_1(x) - f_2(x)$ , где  $\delta$  — сумма перемещений точек, лежавших вблизи первоначального касания поверхностей (сближения тел).

Полученное уравнение является уравнением перемещений рассматриваемой контактной задачи. Его решение получено в виде:

$$p(x) = (Q + Aa^2 - 2Ax^2)(\pi\sqrt{a^2 - x^2})^{-1}; \quad a = \sqrt{2Q\eta\bar{R}^{-1}}; \quad A = \bar{R}(2\eta)^{-1},$$

где  $Q$  — действующая нагрузка;  $a$  — полуширина площадки контакта;  $\bar{R}$  — приведенный радиус контактирующих поверхностей,  $\bar{R} = f_1''(0) + f_2''(0) = R_1^{-1} + R_2^{-1}$ ;  $\eta$  — приведенная упругая постоянная касающихся поверхностей,  $\eta = (1 - \mu_1^2)E_1^{-1} + (1 - \mu_2^2)E_2^{-1}$ ;  $\mu_1, \mu_2, E_1$  и  $E_2$  — упругие постоянные вальца и среды.

Представленные зависимости характеризуют контактную напряженность вальца и уплотняемой среды. По зоне контакта напряжения распределяются следующим образом (рис.2).

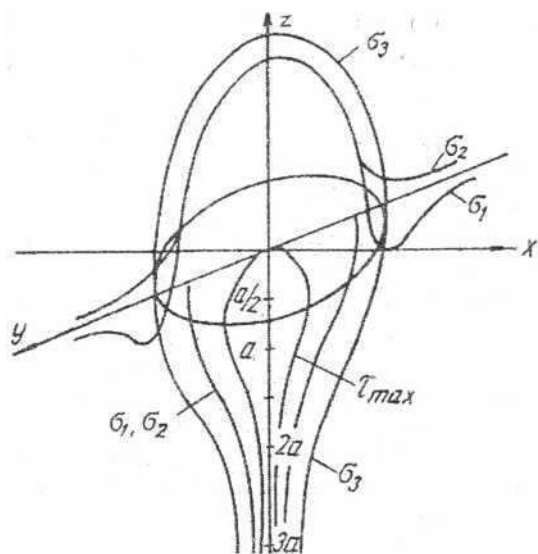


Рис. 2. Распределение напряжений в зоне контакта.

#### Распределение напряжений вдоль горизонтальной оси.

Сжимающие главные напряжения  $\sigma_1, \sigma_2$  и  $\sigma_3$  имеют максимальные значения в центре зоны контакта ( $\sigma_1 = \sigma_2 = 0,8p_0, \sigma_3 = p_0$ ) и непрерывно убывают при подходе к границе площадки, причем  $\sigma_3$  на границе зоны контакта уменьшается до нуля. Напряжение  $\sigma_1$  (оно направлено вдоль радиуса) на участке  $x=0,95a$  меняет знак на противоположный, достигая на границе площадки значения  $\sigma_1 = (0,13 \div 0,14)p_0$ . За пределами площадки это напряжение сохраняет положительный знак и по мере удаления от границы площадки постепенно уменьшается до нуля. Напряжение  $\sigma_2$  (характеризует напряжение по главной площадке к радиусу, проведенному из центра зоны контакта) подобно  $\sigma_1$  уменьшается к границе площадки,  $\sigma_2 = 0,13p_0$ . В отличие от  $\sigma_1, \sigma_2$  не меняет знака и остается все время отрицательным. Это напряжение распространяется и за пределы площадки, асимптотически приближаясь к нулю.

Таким образом, на границе площадки и за ее пределами ( $\sigma_1 = -\sigma_2$  при  $\sigma_3 = 0$ ) имеет место двухосное напряженное состояние (чистый сдвиг). Наиболее напряженным является участок контактирующей поверхности, расположенной в центре зоны контакта, где (при  $\mu = 0,3$ )  $\sigma_1 = \sigma_2 = -0,8p_0$  и  $\sigma_3 = -p_0$ .

Сечение вдоль вертикальной оси. По сечению оси  $z$  напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  имеют максимальные и равные значения на поверхности контакта  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0,8p_0$ . При проходе вдоль сечения эти напряжения довольно интенсивно убывают и на расстоянии  $z > 2a$  приближаются к нулю ( $\sigma_1$  и  $\sigma_2 \rightarrow 0$ ). Напряжение  $\sigma_3$  имеет максимум на поверхности контакта  $\sigma_3 = \sigma_{\max} = -p_0$ . Изменение значений  $\sigma_3$  вглубь соприкасающихся поверхностей отличается от закономерности изменения значений остальных главных напряжений. Вначале  $\sigma_3$  уменьшается медленно, затем, начиная примерно с  $z = 0,5a$ , величина  $\sigma_3$  резко падает и на глубине  $z = 3a$  приближается к нулю.

Максимальные касательные напряжения  $\tau_{\max} = 0,5(\sigma_3 - \sigma_1)$  - по сечению вдоль оси  $z$  изменяются от  $\tau = (0,1 \div 0,2)p_0$  на поверхности контакта и достигают максимального значения на глубине  $\tau = 0,5a$   $\tau_{\max} = (0,31 - 0,33)p_0$ . При дальнейшем увеличении расстояния от поверхности  $\tau$  резко снижается и, начиная с  $z > 2a$ , стремится к нулю.

В случае контакта в виде полосы  $\tau_{\max} = 0,3p_0$  на глубине  $z = 0,9a$ .

Таким образом, напряженное состояние среды и вальца при контактных нагрузках характеризуется большим градиентом напряжений и концентрацией их в небольших объемах вблизи поверхности. При этом характерно наличие двух более напряженных зон: поверхностного слоя, где действуют максимальные главные напряжения, и зоны максимальных касательных напряжений на глубине меньшей, чем размеры контактной площадки. Материал в зоне контакта находится в состоянии всестороннего сжатия.

На границе зоны контакта, где действуют наибольшие касательные напряжения и радиальные растягивающие напряжения, постепенно накапливаются сдвиговые нежелательные деформации в уплотняемой среде, росту которых способствует и трение контактирующих поверхностей. Трение достигает максимального значения на периферии зоны контакта. Наиболее нагруженным участком уплотняемой среды является «сфера» вблизи зоны контакта, где после каждого прохода катка накапливаются пластически-сдвиговые деформации, приводящие к появлению области всестороннего сжатия материала, определяющие глубину его уплотнения. Этот участок для каждого катка и уплотняемой среды расположен на вполне определенной глубине вдоль нормальной оси с максимальными касательными напряжениями.

В тех случаях, когда нагрузка, прикладываемая к вальцам, передается среде не нормально к плоскости зоны контакта, т.е. помимо нормального давления действует и тангенциальная составляющая, распределение напряжений на поверхности вальцев становится несимметричным. Появляются дополнительные растягивающие напряжения с противоположной стороны относительно направления действия тангенциальной силы и сжимающие напряжения на обратной поверхности вальца. На поверхности среды действуют те же напряжения, но в обратном направлении.

В случае несимметричного контактирования вальцов катка с уплотняемой средой расчет контактного давления  $p(x)$  осуществляется с использованием зависимости

$$p(x) = 2a(\pi^2\eta)^{-1} \left\{ \sin\alpha [S_n\beta + S_\wedge(\pi - \beta)] + (\cos\alpha - \cos\beta)(S_n - S_\wedge) \ln[\sin 0,5(\alpha + \beta) \sin^{-1} 0,5(\alpha - \beta)] \right\}$$

при выполнении условий:

$$\nu = -a \cos\beta; \quad 0 < a < \pi; \quad \gamma = \tau = a \cos\alpha; \quad x = a(\cos\alpha - \cos\beta);$$

$$S_n = 0,5[f_1''(0) + f_2''(0)] \quad \text{при } x = +0 \text{ и при } x = -0 \quad S_\wedge = 0,5[f_1''(0) + f_2''(0)],$$

$$\text{тогда } f_1(x) + f_2(x) = S_n x^2, \quad f_1(x) - f_2(x) = S_\wedge x^2, \quad f'(x) = -2S_n \eta^{-1} x,$$

$$f'(x) = -2S_\wedge \eta^{-1} x \quad \text{при } x > 0 \text{ и при } x < 0 \text{ соответственно.}$$

Смещение середины полоски контакта  $\nu$  относительно действия нагрузки представлено здесь в зависимости от ширины этой полоски  $2a$  и угла  $\rho$ . Решение может быть использовано для расчетов в тех случаях, когда вальцы совершают только поступательное перемещение вдоль оси  $z$  и, помимо поступательного перемещения, возможен незначительный относительный поворот вокруг начала координат.

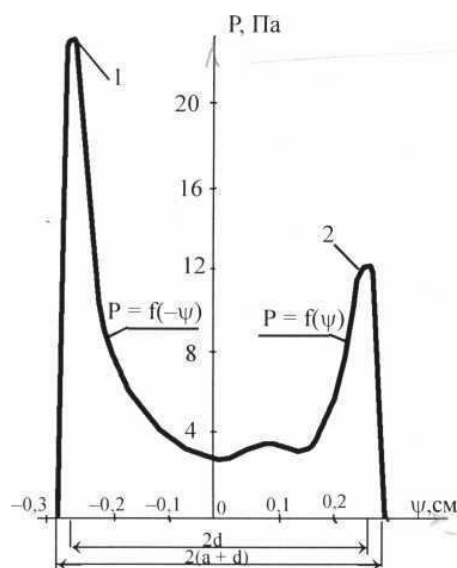


Рис. 3. Эпюра распределения контактного давления  $p(\psi)$ : 1 и 2 –  $P_{\max}(-\psi)$  и  $P_{\max}(\psi)$  соответственно.

Для определения полуширины плоскости контакта получена следующая зависимость

$$a = (\sin\beta)^{-1} \sqrt{\pi Q \eta [(S_n - S_\wedge) \operatorname{tg}\beta]^{-1}},$$

$$\operatorname{tg}\beta - \beta = S_\wedge \pi (S_n - S_\wedge)^{-1}.$$

Распределение контактного давления  $p(\psi)$  для рассматриваемого случая [2, 3] (начальное соприкосновение вальца со средой — полоса) несимметричное распределение давления по зоне контакта, показано на рис. 3. Значение  $p(\psi)$  по сечению площадки контакта характеризуется большей неравномерностью. В средней части сечения (полоски контактирую-

ших поверхностей)  $p$  имеет минимальное значение и сравнительно равномерное распределение. Однако, начиная уже с участка  $\psi = \pm 0,5d$ , расположенного по обе стороны от оси  $z$ , происходит постепенный рост значений контактного давления. Такой характер изменения  $p = f(\pm\psi)$  продолжается примерно до точки с абсциссой  $\psi = \pm 0,8d$ , после чего наблюдается резкое увеличение значений контактного давления при подходе к границе зоны контакта. Несмотря на ярко выраженную тенденцию увеличения контактного напряжения с большим градиентом вблизи границы площадки контакта, максимального значения оно достигает, не доходя до нее.

После достижения максимума  $p$ , опять с большим градиентом, снижается и на границе зоны контакта  $\psi = \pm(a+d)$  принимает нулевое значение. Полученное распределение контактного давления по сечению является довольно типичным для рассматриваемой схемы нагружения и подтверждает ранее высказанное предположение о довольно сложном характере напряженного состояния уплотняемого материала в зоне контакта. При этом не-

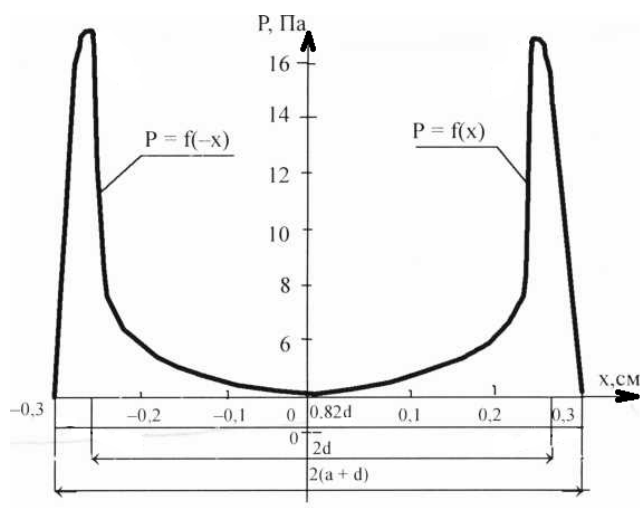


Рис. 4. Распределение напряжений при симметричном контакте вальца в виде полосы со средой.

обходимо иметь в виду, что схемы нагружения (приложения внешних сил: симметричная и несимметричная через контакт в точке или через площадку) вызывают возникновение в уплотняемом материале различных напряженных состояний со своими плюсами и минусами (см. рис. 3 и 4), применительно к процессу уплотнения материала их совместное действие обеспечивает существенное повышение эффективности уплотнения материала за счет взаимного снижения (устранения) влияния

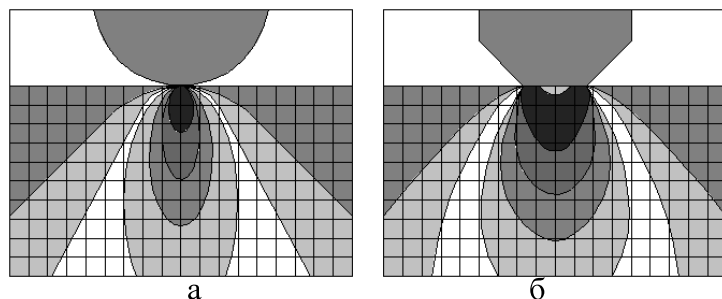


Рис. 5. Распределение напряжений в среде при ее уплотнении и уплотняющих элементах, выполненных по форме: а - скругленных сегментов; б - площадки.

минусов обеих схем нагружения. Поэтому, на вальцах желательно чередовать круглые и плоские сегменты (рис. 5).

Если  $d \neq 0$  и  $S_n = S_{\square}$  имеем случай соприкосновения вальца со средой при  $S(x) = S(-x)$  и  $\nu = 0$ . Иными словами, случай симметричного распределения давлений в зоне кон-

такта, в котором местом начального соприкосновения двух поверхностей является полоса.

Результаты расчета для последнего случая [3] показаны на рис. 4. Эпюра описывает закономерности изменения контактного давления по сечению в зоне симметричного контакта вальца со средой. Общий характер изменения подобен диаграмме, приведенной на рис. 3, однако в рассматриваемом случае эпюра симметрична относительно центра координат и  $\sigma$  имеет меньшую неравномерность при распределении по сечению. Контактное давление небольшой величины сравнительно равномерно распределено по большей части сечения. Эта часть сечения распространяется примерно до участков с координатами  $x=\pm 0,8d$ . Начиная с границы участков  $x=\pm 0,8d$ , напряжения интенсивно возрастают и достигают максимальных значений в точках с  $x=\pm d$ . После достижения предельных значений контактные давления с большим градиентом снижаются и принимают нулевое значение на границе контакта  $x=\pm(a+d)$ .

Рассмотренные эпюры распределения контактного давления по сечению зоны контакта вальца и уплотняемой среды свидетельствуют о зависимости  $p(x)$  в первую очередь от: нагрузки ( $Q$ ), площадки начального контакта ( $d$ ), полуширины площадки упругого деформирования ( $a$ ), соприкасающихся поверхностей и кривой расстояния между сжимаемыми поверхностями (от радиуса вальцов).

На катках, вальцы которых совершают крутильные колебания вокруг собственной оси, т.е. совершают небольшие реверсивные осцилляции (угловые отклонения), получили название «осцилляторных». Осцилляторное уплотнение материалов осуществляется по силовому принципу отдельного или совместного действия сжатия ( $Q$ ) и реверсного сдвига ( $Q_1$ ). Силы  $Q_1$  направлены перпендикулярно начальному контакту. Решение такой задачи связано с существенными математическими трудностями. Поэтому воспользуемся приближенным решением [4, 5] с учетом следующих допущений: контактное давление распределяется по эллиптической площадке в зоне соприкосновения поверхностей; касательные нагрузки пропорциональны нормальным. В этом случае напряженное состояние зоны контакта вальца и уплотняемой среды определяется компонентами напряжений:

$$\sigma_x = q_{\max} \left( 2e^{-\alpha} \cos \beta_0 - Sh \alpha \sin \beta_0 \frac{\sin 2\beta_0}{Ch 2\alpha - \cos 2\beta_0} \right);$$

$$\sigma_y = 2\mu q_{\max} e^{-\alpha} \cos \beta_0; \quad \sigma_z = q_{\max} Sh \alpha \sin \beta_0 \frac{\sin 2\beta_0}{Ch 2\alpha - \cos 2\beta_0};$$

$$\tau_{xz} = q_{\max} \left( e^{-\alpha} \sin \beta_0 - Sh \alpha \sin \beta_0 \left( 1 - \frac{Sh 2\alpha}{Ch 2\alpha - \cos 2\beta_0} \right) \right),$$



где  $\alpha$  и  $\beta_0$  — эллиптические координаты, связь которых с прямоугольными (координатами  $x$  и  $z$  посредством гиперболических и круговых функций осуществляется следующим образом:  $x = (a + d)Ch\alpha \cos \beta_0$ ;  $z = (a + d)Sh\alpha \sin \beta_0$ ;  $\mu$  - коэффициент Пуассона.

Зная напряженное состояние материала в зоне контакта при действии нормальной нагрузки  $Q$  и касательных сил  $Q_1$  нетрудно получить общее напряженное состояние методом суперпозиции. Наличие дополнительных внешних сил в зоне контакта сказывается на размерах зоны контакта, расстоянии участка всестороннего сжатия от поверхности контакта и на растягивающих и касательных напряжениях по зоне контакта.

Анализируя общее напряженное состояние поверхностей в зоне их контакта со средой, можно заключить, что:

- максимальные контактные напряжения по абсолютному значению увеличиваются с ростом как нормальных, так и касательных нагрузок;

- при наличии  $Q_1$  зарождается зона растяжения, размеры которой и напряжения резко возрастают с увеличением касательной нагрузки. Вероятно, в некоторых случаях именно эти напряжения определяют прочность и характер уплотнения материалов в при- контактной зоне;

- с увеличением касательной нагрузки уменьшается зона всестороннего сжатия материала в зоне контакта. Глубина расположения наиболее напряженной точки  $\tau_{\max}$  уменьшается и с увеличением  $Q_1$ , приближается к поверхности контакта. При эксплуатации осцилляторов это положение необходимо иметь в виду. Их, вероятно, более рационально использовать на предварительных стадиях уплотнения материалов с последующим уплотнением тяжелыми статическими катками с соответствующим контактным давлением вальца или после мощных вибрационных вальцов, эффективно уплотняющих нижнюю часть укатываемого слоя с некоторым разупрочнением приповерхностной его зоны, когда валец с осцилляциями, своими хотя и значительно меньшими силовыми воздействиями, но более эффективно уплотняет приповерхностную часть укатываемого слоя;

- максимальные контактные давления оказывают основное влияние на прочность уплотняемого материала;

- размеры площадки контакта определяют толщину уплотняемого слоя материала. Увеличение минимального размера  $(a + d)$  контакта приводит к увеличению толщины уплотняемого слоя. Увеличение длины контакта (в фронтальном направлении) рабочего органа с материалом и уменьшение скорости передвижения приводит к увеличению времени нагружения уплотняемого материала. Это положительно сказывается на качестве уплотнения материала с вязкими свойствами;

– чередуя за время действия цикла уплотнения среды круговую форму вальца в зоне контакта и форму вальца в этой зоне в виде площадки можно получить более равномерное распределение контактного давления по зоне соприкосновения поверхностей и тем самым интенсифицировать процесс уплотнения среды и устранить ее волнование. Реализация такого воздействия вальца на уплотняемый материал возможна в случае сочетания на поверхности вальца плоских и скругленных сегментов (рис. 5, 6, 7);

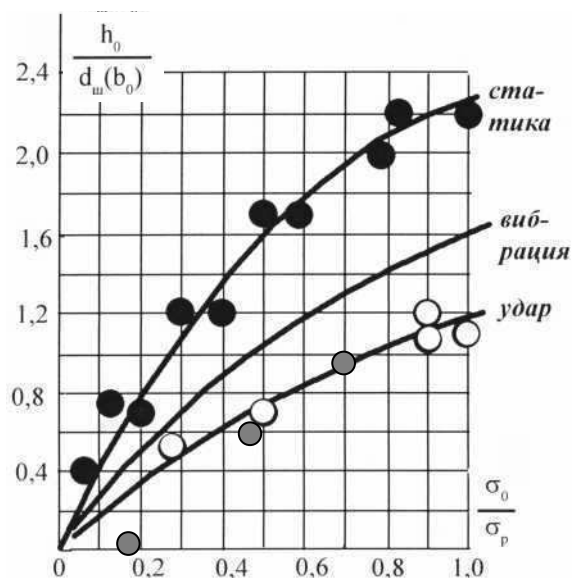


Рис. 6. Зависимость глубины уплотнения  $h_0$  от контактных давлений в относительных единицах при различных воздействиях.

– диаметр укатывающих вальцов оказывает существенное влияние на качество уплотнения. С уменьшением диаметра вальца горизонтальные силы увеличиваются, что приводит к сдвигу уплотняемого материала и снижает качество укатки ;

– вследствие образования волн на поверхности уплотняемого покрытия с увеличением диаметра вальца улучшается качество уплотнения, но значительно увеличиваются габаритные размеры машины и центр тяжести перемещается вверх;

– характерным условием нагружения в зоне контакта вальца и уплотняемого материала, воспринимающего контактные нагрузки, является ограниченность величины контактирующих поверхностей, через которые передаются силы от вальца к среде. Напряжения, возникающие в зоне соприкосновения вальца со средой, отличаются от их общих напряжений. Контактные напряжения часто превышают предел прочности материала при одноосном нагружении. Это объясняется тем, что материал вблизи контактных поверхностей находится в состоянии, близком к всестороннему сжатию. Кроме того, контактные напряжения очень быстро убывают по мере удаления от зоны соприкосновения, уменьшаясь в десятки раз на расстоянии, равном нескольким размерам площадки контакта.

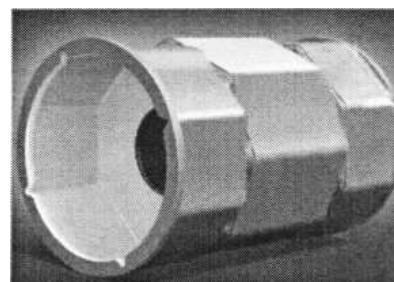


Рис. 7. Предпочтительная форма вальца [2].

**Вывод.** Из приведенного графика (рис.6) следует, что глубина активной зоны уплотнения  $h_0$  зависит от характера нагрузки, размера контактной площадки, соотношения контактных давлений и предела прочности уплотняемой среды.

При большой контактной площадке с малым контактным давлением можно получить незначительную глубину требуемого уплотнения. То же самое будет и при малой контактной площадке и высоком или низком давлении. Предпочтительное давление 0,9 — 1 МПа на рыхлый грунт и 1,5 — 1,6 МПа на плотный грунт.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Машины для земляных работ: Навчальний посібник /Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке В.В., Назаров Л.В., Скоблюк М.П., Нікітін В.Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010. – 557с.
2. Блохин В.С., Большаков В.И., Малич Н.Г. Основные параметры технологических машин. Машины для дезинтеграции твердых материалов: Учеб. Пособ.-Днепропетровск: ИМА-пресс,2006. – 404с.
3. Малич Н.Г. Научные основы развития расчета параметров машин для земляных работ в горно-металлургическом комплексе: Монография – Днепропетровск ИМА-пресс-2010. – 380 с.
4. Тимошенко С.П., Гудьер Д. Теория упругости. М.: Наука, 1975. – 576с.
5. Расчеты на прочность в машиностроении/ Под. ред. С.Д. Пономарева. М.: Машгиз. 1959. – 354 с.

**УДК 621.87**

**Н. В. РОЗЕНФЕЛЬД, ст. преп., О.В. ИВАНОВА, студ.**

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

## **СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИЙ В ГИДРОЦИЛИНДРАХ АВТОГРЕЙДЕРА**

**Актуальность вопроса.** Во многих случаях разрушение металлоконструкции автогрейдера, как и другой землеройно-транспортной машины вследствие усталости материала, вызванного переменными нагрузками.

**Анализ публикаций.** Причины возникновения переменных нагрузок на рабочие органы землеройной техники освещались различными авторами. А.М.Холодов описал процесс периодического скола элементов грунта перед ножом [1], в дальнейшем обстоятельно