

the mathematical model of the test vibration exciter allows us to conclude the possibility of increasing the vibration influence efficiency owing to the optimal placement of mobile eccentrics. In the release condition it is sufficient to place mobile eccentrics in the outermost positions relative to the stationary ones (next to the supporting bearings). It allows significantly increasing the value of the basic moment of the inertial forces for mobile eccentrics during the first quarter of their rotation.

Получено 30.09.2010

**ISBN 978-985-468-924-1. Механика. Научные исследования  
и учебно-методические разработки. Вып. 5. Гомель, 2011**

---

УДК 631.6.22

*Ф. У. ЖУРАЕВ*

*Гиждуванский сельскохозяйственный профессиональный колледж,  
Узбекистан*

## **ИЗУЧЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ КРотовых ДРЕН**

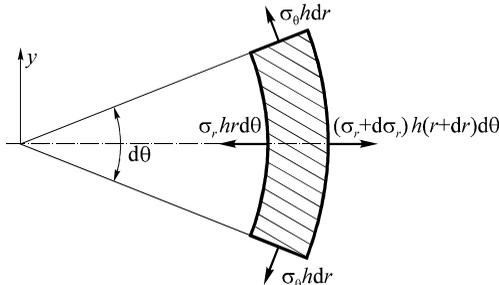
На основе уравнений механики деформируемого твердого тела получены соотношения, позволяющие оценить прочность и деформации стенок кротовых дрен с целью обеспечения требуемого их срока службы.

Неудовлетворительное мелиоративное состояние почвы является причиной низкой урожайности. Поэтому его улучшение является одним из самых важных агротехнических мероприятий. С этой целью ведутся научно-исследовательские работы по повышению плодородия почвы [1]. В представленной статье, в частности, решается задача по созданию математической модели, позволяющей описать процесс кротового дренажа.

Представим, что дрена, образованная дренажно-кротовым орудием, направлена по оси  $Ox$ . Рассматриваемую задачу решаем в осесимметричной постановке в цилиндрической системе координат. Пренебрегаем вытеканием жидкости из кротовых дрен. Проблема истечения жидкости из кротовых дрен может быть рассмотрена отдельно. В таком случае могут быть применены линейный или нелинейный законы течения. Установим, при каких условиях не будут разрушаться уже образованные дрена.

Используем уравнения механики деформируемого твердого тела. Данная задача может рассматриваться как частный случай анализа напряженно-деформированного состояния цилиндрического объема под действием внешней силы.

Пусть среда, окружающая цилиндрическую поверхность, является упругой. В этом случае деформация выделенного элемента кротовой дрены (рисунок 1) описывается с помощью дифференциального уравнения [2]



$$r \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \sigma_r - \sigma_\theta = 0. \quad (1)$$

Решение уравнения (1) имеет вид:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= A/r^2 + B; \\ \sigma_\theta &= -A/r^2 + B, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\sigma_r$  – радиальное напряжение;  $\sigma_\theta$  – контурное напряжение;  $A$  и  $B$  – константы, определяемые видом граничных условий.

Рисунок 1 – Силы, действующие на элементарные площадки цилиндрической поверхности кротовой дрены

Если радиусам  $r = r_1$  и  $r = r_2$  соответствуют давления  $p_1$  и  $p_2$ , то  $A$  и  $B$  определяются по следующим формулам:

$$A = \frac{r_1^2 r_2^2 [p_2 - p_1]}{r_2^2 - r_1^2}; \quad B = \frac{r_1^2 p_1 - r_2^2 p_2}{r_2^2 - r_1^2}. \quad (3)$$

При наличии пластической деформации пространства приходится принимать во внимание соответствующие условия, например, критерий пластичности Мизеса [2]:

$$\sigma_r^2 - \sigma_r \sigma_\theta + \sigma_\theta^2 = 3\tau_r^2, \quad (4)$$

где  $\tau_r$  – предельное касательное напряжение.

Если  $p_1 > \tau_r$ , то в полном цилиндре  $r_1 \leq r \leq r_2$  образуется пластическая деформация. На границе зоны пластичности  $r = r_2$  выполняется условие

$$\sigma_\theta = -\sigma_r = \tau_r.$$

Если подставить в уравнение (1) выражения  $\sigma_r = 2\tau_r \cos(\eta + \pi/6)$  и  $\sigma_\theta = 2\tau_r \cos(\eta - \pi/6)$ , то получим дифференциальное уравнение

$$\left(\sqrt{3} + \operatorname{ctg} \eta\right) d\eta + 2 \frac{dr}{r} = 0. \quad (5)$$

Его решение, удовлетворяющее граничному условию  $\eta(r_2) = \pi/2$ , имеет вид:

$$\left(\frac{r_2}{r}\right)^2 = e^{-\sqrt{3}\left(\frac{\pi}{2} - \eta\right)} \sin \eta.$$

Для радиусов, лежащих в диапазоне  $r_1 \leq r \leq r_2$ , уместно будет принять  $\eta \geq \pi/2$ . Образование пластической деформации кротовых дрен зависит от

$p_1 = -\sigma_r$ . Наибольшему внутреннему давлению соответствует  $\eta_a = \frac{5}{6}\pi$ . В

этом случае  $p_{1\max} = -\sigma_{r\max} = 2\tau_r$ .

На рисунке 2 представлена расчетная зависимость нормированного контурного напряжения  $\sigma_\theta^* = \sigma_\theta / \sigma_1$  ( $\sigma_1$  – максимальное контурное давление при  $r = r_1$ ), соответствующего давлению  $p_1 = p_{1\max}$ , от отношения радиусов  $r/r_1$ . Из графика видно, что с увеличением радиуса  $r$  контурные напряжения приближаются к линии  $\sigma_\theta^* = 6$ . Это значит, что с увеличением радиуса отверстия дренажа максимальное контурное напряжение (концентрация напряжения) будет неизменным.

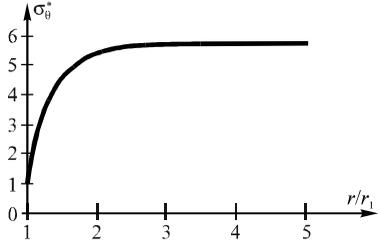


Рисунок 2 – Изменение контура напряжения относительно с пластическим радиусом

Для поставленной задачи можно найти радиальные перемещения точек среды:

$$u = \frac{-2r_1 r^2 p_1}{E(r_2^2 - r_1^2)},$$

где  $E$  – пространственный модуль Юнга.

Если кротовой дренаж образуется на глубине  $y = H$ , то возникает дополнительное напряжение, которое при условии плоской деформации будет определяться по следующей формуле (рисунок 3):

$$\sigma_y = \frac{B_S \gamma}{2k_r \operatorname{tg} \varphi} \left( e^{k_r \operatorname{tg} \varphi (2H/B_S)} - 1 \right) + q e^{k_r \operatorname{tg} \varphi (2H/B_S)},$$

где  $B_S$  – полная ширина кротовых дрен;  $\gamma = \rho g$ ;  $H$  – глубина;  $q$  – распределенная нагрузка (давление от силы тяжести почвы). Выражение коэффициента  $k_r$  Кристенсен предложил записывать в виде  $k_r = 1 + 2 \operatorname{tg}^2 \varphi$ .

Зависимость максимального контурного напряжения от относительного радиуса отверстия  $R^*$  с учетом дополнительного напряжения  $\sigma_y$  на глубине  $H$  для разных коэффициентов Пуассона приведена на рисунке 4. Видно, что максимум напряжения  $\sigma_\theta^*$  при образовании кротового дренажа достигается в диапазоне  $0 < R^* < 3$ . При  $R^* > 3$  напряжение уменьшается.

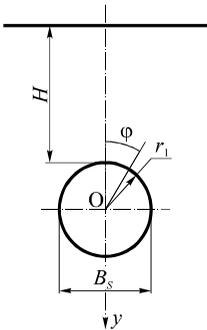


Рисунок 3 – Поперечное сечение дрена

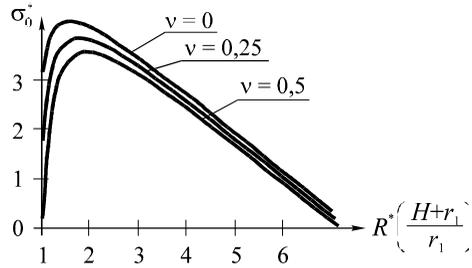


Рисунок 4 – Изменение контурного напряжения в зависимости  $R^*$  при разных значениях коэффициента Пуассона  $\nu$

Если внутренние границы образованного кротового дренажа со временем изменяются (уменьшаются), то поскольку выражения относительной деформации (для плоской деформации) имеют вид:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}, \quad \varepsilon_\theta = \frac{u}{r},$$

уравнение (1) преобразуется к форме

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} + \rho \phi^2 r = 0. \quad (6)$$

где  $\rho$  – плотность среды.

Для решения этого дифференциального уравнения зададимся граничными условиями  $\sigma_r = -c(u(t))|_{r=r_1}$ ;  $\sigma_r = \sigma_0|_{r=r_2}$ , а зависимость между осевым напряжением и предельной деформацией примем в виде:

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t) - \int_0^t R(t-S)\varepsilon(S)dS, \quad R = Ae^{-\beta t}t^{\alpha-1},$$

где  $c$ ,  $A$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  – коэффициенты, характеризующие физико-механические свойства среды;  $u(t)$  – радиальное перемещение внутренних точек поверхности дрена;  $E$  – модуль упругости, характеризующий особенности среды;  $\sigma$  – напряжение;  $\varepsilon$  – деформация;  $R$  – ядро релаксации;  $t$  – время.

При решении задачи коэффициент Пуассона  $\nu$  принимается неизменным ( $0 < \nu < 0,5$ ). Функция  $\phi = \frac{\partial \phi(r,t)}{\partial t}$  – имеет определенный вид и показывает

степень разрушенности среды. При помощи этого члена дифференциальное уравнение (6) приводится к нелинейному дифференциальному уравнению.

В целом, дренаи должны образоваться так, чтобы по ним подземные грунтовые воды протекали под уклон земли в направлении дренажных канав и не

меньше, чем на 2–3 года помогли улучшению мелиоративного состояния земли, и, соответственно на местах послужили средством повышения эффективности сельскохозяйственного производства.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 **Жураев, Ф. У.** Экспериментальное обоснование некоторых мелиоративных машин в условиях орошаемого земледелия / Ф. У. Жураев // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 4. – С. 124–131.

2 **Филин, А. П.** Прикладная механика твердого деформируемого тела / А. П. Филин. – М.: Наука, 1975 г. – 832 с.

3 **Ўрозбоев, М. Т.** Материаллар каршилиги. II қисм. – Тошкент: Ўқитувчи, 1965. – 487 б.

*F. U. ZHURAEV*

#### **STUDY OF STRESS-STRAIN STATE OF SOIL WHEN FORMING MOLE DRAINS**

Based on the equations for solid mechanics the relations allowing to assess the strength and deformation of the walls of the mole drains in order to provide the required their useful life have been obtained.

Получено 04.03.2011

**ISBN 978-985-468-924-1. Механика. Научные исследования  
и учебно-методические разработки. Вып. 5. Гомель, 2011**

---

УДК 629.356

*А. В. КОВАЛЕНКО*

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск*

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АВТОЦИСТЕРНЫ С ПОДРЕССОРЕННЫМ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ РЕЗЕРВУАРОМ**

На основе компьютерного моделирования колебаний автоцистерны с жидким грузом исследуется влияние жесткости подрессоривания резервуара в вертикальной плоскости на значения сил, действующих на элементы конструкции цистерны, и деформаций рессор. Показано, что изменение коэффициента жесткости подвески резервуара практически не влияет на амплитуды колебаний автомобиля.

Ранее нами в статье [1] выполнено моделирование торможения цистерны, частично заполненной жидкостью, для случая жесткого крепления резервуара к раме. Результаты работы показали, что при заполнении резервуара на 40–70 % его объема возникает существенное перераспределение сил, дейст-