

**Солоня О. В.**

к.т.н., доцент

**Ковбаса В. П.**

д.т.н., професор

**Мельник О. С.**

магістрант

**Вінницький національний  
аграрний університет****Solona O.****Kovbasa V.****Melnik O.****Vinnitsia National Agrarian  
University****УДК 631.3: 631.674****DOI: 10.37128/2306-8744-2020-1-5****ДИНАМИКА КОНТАКТНОГО  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЕМЕХА  
КРОВОТАТЕЛЯ С ПОЧВОЙ ПРИ  
ОБРАЗОВАНИИ ПОЛОСТИ**

*Чтобы поддерживать влажность и лучше распределять ее в горизонтальном направлении в почве при поливе сельскохозяйственных растений, необходимо укладывать увлажнители вместе с непроницаемым экраном. Для этой цели может быть использован кротователь. Обоснование геометрических параметров этого рабочего органа и режимов его работы является актуальной научной проблемой. Решение этой проблемы требует формализации почвы, как среды, на которую направлено действие рабочего органа, а также формализации взаимодействия его с почвой.*

*В данной статье рассматривается динамика работы лемеха, образующего горизонтальную щель, в которую протягивается противодиффузионный экран. Для этого рассмотрено взаимодействие лемеха кротователя с почвой в зоне контакта при уплотнении стенок образуемой полости. При этом степень уплотнения стенок влияет на устойчивость свода образованной щели. В исследовании почва представлена как упруго-вязкая деформируемая среда, а лемех как абсолютно твердое тело. Поверхность этого тела описана трехмерным уравнением в неявном виде, коэффициенты которого характеризуют геометрические параметры рабочего органа.*

*В предыдущей статье авторов были получены функции скоростей деформаций почвы от действия рабочего органа. На основе функций деформаций с использованием физических уравнений связи напряжений с деформациями получены зависимости компонент напряжений от механических свойств почвы и параметров рабочего органа.*

*Компоненты напряжений, полученные в зоне контакта лемеха с почвой, позволили определить функцию изменения удельного объема почвы. Эта функция обратно пропорциональна плотности почвы.*

*Использование уравнений равновесия на поверхности контакта позволило определить компоненты сил, которые действуют со стороны почвы на лемех. Интегрирование полученных компонент распределенных сил по поверхностям лемеха позволило получить сумму сил сопротивления движению лемеха как функцию механических свойств почвы и параметров рабочего органа.*

*В результате проведенных исследований определены рациональные параметры коэффициентов уравнения поверхности лемеха, которые характеризуют его геометрические параметры.*

**Ключевые слова:** упруго-вязкая деформируемая среда, механические свойства почвы, компоненты напряжений, лемешная часть кротователя, компоненты сил сопротивления, геометрические параметры рабочего органа.



**Введение.** Разработка многих процессов, связанных с изменениями свойств почвы при строительстве ирригационных и инженерных сооружений, требует обоснования геометрических параметров и режимов работы рабочих органов, которые применяются для реализации этих процессов. Одним из таких рабочих органов является кротователь. Для экономии воды и улучшения жизнеспособности растений при внутрпочвенном орошении возникает необходимость укладки увлажнителей совместно с противодиффузионным экраном. Для образования полости в почве, куда укладывается противодиффузионный экран, используют лемешную часть кротователя. При этом геометрические параметры лемеха должны обеспечивать достаточное уплотнение стенок полости в почве при минимальных затратах энергии.

Анализ последних исследований взаимодействия рабочих органов с почвой показывает, что наиболее адекватным методом формализации почвы для решения задач о нахождении рациональных геометрических форм и режимов движения рабочих органов является метод, когда почву можно представить в виде сплошной деформируемой среды с присущими ей такими свойствами, как упругость, вязкость и пластичность [1-4].

Такие решения позволяют использовать аналитические методы нахождения компонент деформаций, напряжений, составляющих сил сопротивления движению рабочего органа и определять направление изменений плотности почвы или даже сами ее изменения. То есть, решения задачи до наступления пластичности или разрушения сплоченности почвы позволяет прогнозировать развитие дальнейших процессов изменения ее свойств в зависимости от геометрических параметров и режимов движения рабочего органа.

Решению задач о контактом взаимодействии абсолютно твердого тела с деформируемой средой посвящено большое число исследований [6-8]. Но следует отметить, что в основном используются экспериментальные методы исследования или методы численного моделирования с использованием методов конечных элементов [6-8]. Это существенно ограничивает общность полученных результатов и не позволяет

распространить их на более широкий класс решаемых задач.

В связи с этим **целью исследования** является определение компонент напряжений в почве, ее уплотнения и компонентов сил, которые возникают на поверхности лемеха в результате взаимодействия с почвой в зависимости от ее механических свойств, а также геометрических параметров и режимов работы лемешного рабочего органа

**Результаты исследования.** При решении задачи о взаимодействии кротователя с почвой была принята модель почвы в виде вязкоупругой среды, которая может быть формализована моделью Кельвина-Фойгта.

Общая схема взаимодействия лемеха кротователя с почвой при образовании полости для протягивания противодиффузионного экрана была представлена на рисунке 1 статьи в **предыдущей статье**

На рисунке система координат  $xyz$  представляет координаты полупространства почвы и совпадает с системой координат лемеха кротователя  $\xi\eta\zeta$ ,  $H$  - глубина хода лемеха относительно поверхности поля  $n.n.$ ,  $B_l$  - рабочая ширина лемеха,  $N_l$  - нормаль к плоскости лемеха.

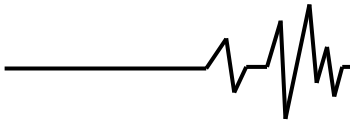
Уравнение рабочей части поверхности лемеха в системе координат  $\xi\eta\zeta$  *idem*  $xyz$  имеет вид уравнения плоскости:

$$f_l = \frac{\xi}{a} + \frac{r-\eta}{b} + \frac{(r/2)-\zeta}{c} = 0,$$

где  $a, b, c$  - коэффициенты, определяющие наклон нормали плоскости к соответствующим осям координат  $o\xi, o\eta, o\zeta$ ,  $r$  - высота вертикальной проекции лемеха, которая обусловлена монтажной высотой в месте крепления. Введение последней в уравнение определяет смещения центра плоскости к началу координат в направлении оси  $o\zeta$  [5].

Исходя из ранее опубликованных результатов [13], компоненты напряжений для модели Кельвина-Фойгта выражаются следующим образом:

$$\sigma_x = \frac{4}{9} e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu) (6\dot{r}_x - 3(\dot{r}_y + \dot{r}_z)) - \frac{e^{\eta(1+\nu)} (1+\nu) (\dot{r}_x + \dot{r}_y + \dot{r}_z)}{-1+2\nu};$$
$$\sigma_y = \frac{4}{9} e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu) (-3(\dot{r}_x - 2\dot{r}_y + \dot{r}_z)) - \frac{e^{\eta(1+\nu)} (1+\nu) (\dot{r}_x + \dot{r}_y + \dot{r}_z)}{-1+2\nu};$$



$$\sigma_z = \frac{4}{9} e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu) (-3(\dot{t}_x + \dot{t}_y - 2\dot{t}_z) - \frac{e^{\frac{Gt}{\eta(1+\nu)}} (1+\nu)(\dot{t}_x + \dot{t}_y + \dot{t}_z)}{-1+2\nu});$$

$$\tau_{xy} = 2e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu) \dot{\gamma}_{xy}, \tau_{yz} = 2e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu) \dot{\gamma}_{yz}, \tau_{xz} = 2e^{\frac{Gt}{2\eta(1+\nu)}} \eta(1+\nu) \dot{\gamma}_{xz}. \quad (1)$$

Где  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$  – компоненты нормальных и сдвиговых напряжений;  $\dot{t}_x, \dot{t}_y, \dot{t}_z, \dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{xz}, \dot{\gamma}_{yz}$  – компоненты скоростей нормальных и сдвиговых деформаций;  $G$  – модуль упругости сдвиговых деформаций,  $G = E/(2(1+\nu))$ ;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $\eta$  – коэффициент вязкости сдвиговых деформаций,

$E$  – модуль упругости линейных деформаций,  $t$  – время деформирования.

Для конкретной задачи в модели (1) при анализе взаимодействия лемеха с почвой приняты обозначения:

$$\sigma_x = \sigma_{xl}, \sigma_y = \sigma_{yl}, \sigma_z = \sigma_{zl}, \tau_{xy} = \tau_{xyl}, \tau_{xz} = \tau_{xzl}, \tau_{yz} = \tau_{yzl},$$

$$\dot{t}_x = \dot{t}_{xl}, \dot{t}_y = \dot{t}_{yl}, \dot{t}_z = \dot{t}_{zl}, \dot{\gamma}_{xy} = \dot{\gamma}_{xyl}, \dot{\gamma}_{xz} = \dot{\gamma}_{xzl}, \dot{\gamma}_{yz} = \dot{\gamma}_{yzl}$$

Из-за громоздкости полученных выражений, в статье они не приводятся, а графическая

интерпретация компонент напряжений приведена на рисунках 1 и 2.

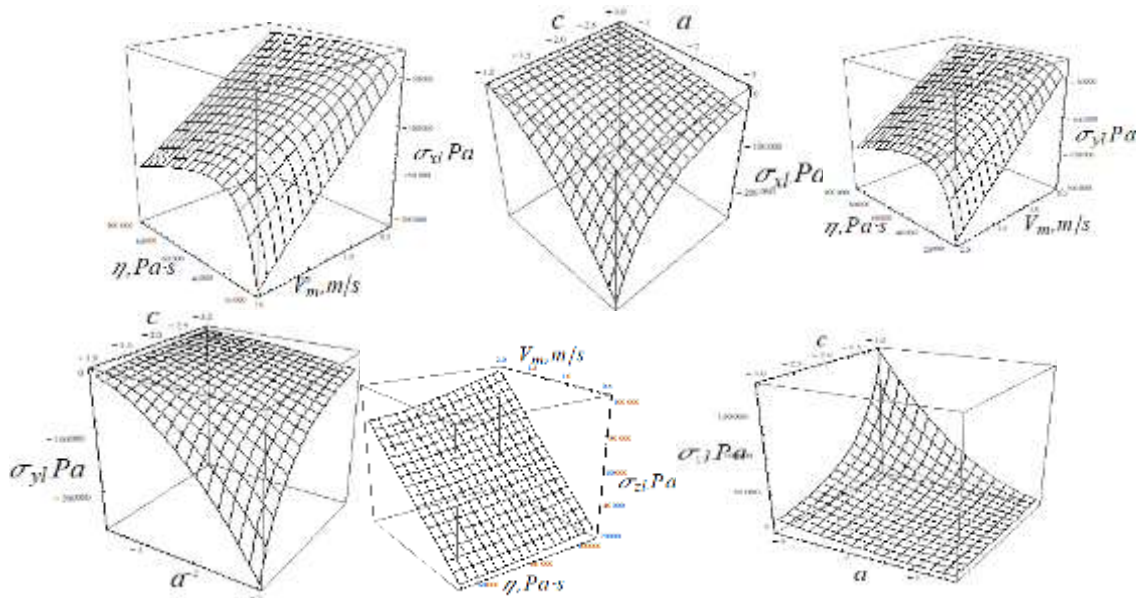
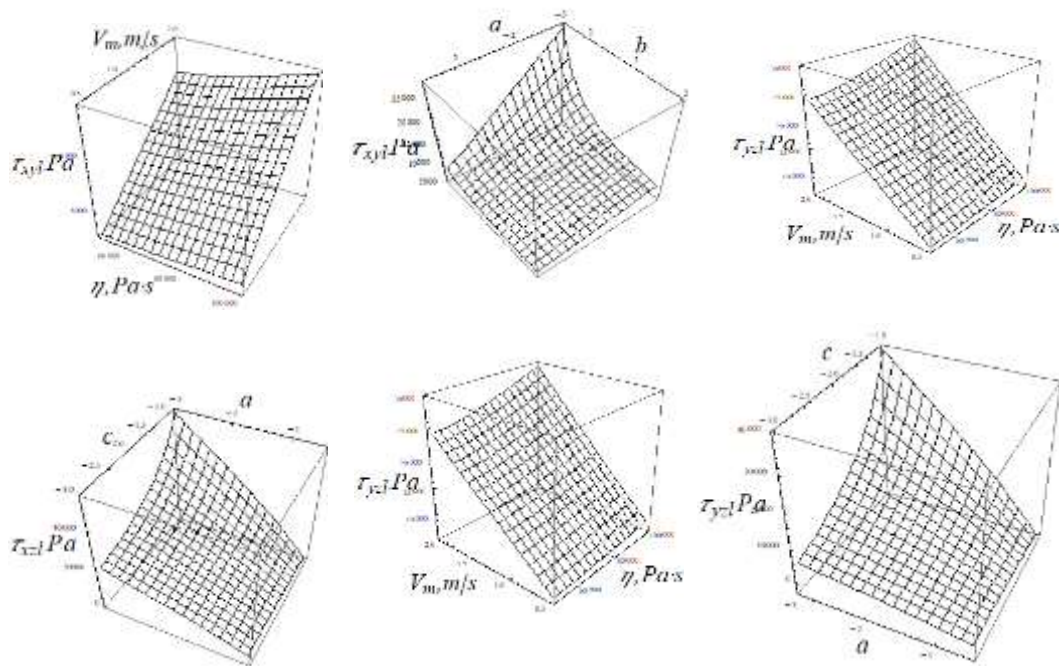
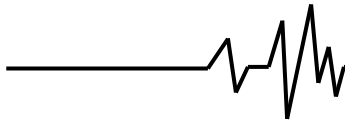


Рис. 1. Графики зависимостей компонент нормальных напряжений  $\sigma_{xl}, \sigma_{yi}, \sigma_{zl}$  от свойств почвы  $E, \eta$ , скорости перемещения лемеха  $V_m$  и коэффициентов  $a, b, c$  уравнения его плоскости



**Рис. 2.** Графики зависимостей компонент касательных напряжений  $\tau_{xyl}, \tau_{xzl}, \tau_{yzl}$  от свойств почвы  $E, \eta$ , скорости  $V_m$  перемещения лемеха и коэффициентов  $a, b, c$  уравнения его плоскости

Анализируя зависимости изменения компонент напряжений (рис. 1, 2), следует отметить, что возрастание модулей упругости  $E$  и вязкости  $\eta$  приводят к увеличению всех компонент напряжений. Увеличение поступательной скорости перемещения лемеха  $V_m$  ведет к линейному возрастанию компонент напряжений, которое проявляется более существенно с возрастанием модуля вязкости почвы. Влияние углов наклона нормали к поверхности лемеха аналогично такому, которое

проявляется для компонент скоростей деформаций.

Под воздействием изменения напряженно-деформированного состояния почвы (грунта) на границе контакта с рабочим органом происходят изменения плотности самой почвы (грунта). Наиболее известными регрессионными зависимостями, которые связывают изменения плотности почвы с изменением напряжений, являются выражения [5, 6]

$$BVW = m \ln \left[ \sqrt{\sigma_{ml}^2 + \tau_{ml}^2} \right] + n \left( \frac{\tau_{ml}}{\sigma_{ml}} \right) + b; \rho_l = \rho_0 + b \ln[\sigma_{ml}(1 + \tau_{ml})], \quad (2)$$

$BVW$  – изменение объема почвы, отнесенного к массе  $[M^3/кг]$ ,  $\rho_l$  – конечная плотность почвы  $[кг/М^3]$ ,  $\rho_0$  – начальная плотность почвы,  $\sigma_{ml}$  – среднее или гидростатическое напряжение в рассматриваемом объеме,  $\tau_{ml}$  – максимальное касательное напряжение в рассматриваемом объеме,  $m, n, b$  – эмпирические коэффициенты, которые характерны для определенного типа почвы при различных влажностях и подлежат экспериментальному определению.

Величина гидростатического напряжения определяется как  $\sigma_{mk} = (\sigma_{xl} + \sigma_{zl} + \sigma_{yl})/3$ , а величина максимального касательного

напряжения для прикладных решений, согласно результатам исследований Новожилова [6], может быть представлена среднеквадратическим компонент касательных напряжений в виде:

$$\tau_{ml} = \sqrt{(\tau_{xyl}^2 + \tau_{xzl}^2 + \tau_{yzl}^2)}/3.$$

Зависимости величин гидростатических и наибольших касательных напряжений от свойств почвы и параметров лемеха приведены на рисунке 3. Используя второе из выражений (2) и учитывая то, что для конкретной почвы при определенном ее состоянии величина  $b = const$ , с использованием вышеизложенных результатов можно построить зависимости изменения плотности почвы от ее механических свойств, геометрических параметров лемеха и скорости его движения. Сами зависимости в конечном виде не могут



быть приведены в пределах публикации, а графическая интерпретация этих зависимостей представлена на рисунке 4.

Распределения компонент давлений почвы (грунта) на поверхность лемеха могут быть определены из условий равновесия на поверхности:

$$dF_{xl} = \sigma_{xl}l_l + \tau_{xyl}m_l + \tau_{xzl}n_l; dF_{yl} = \tau_{xyl}l_l + \sigma_{yl}m_l + \tau_{yzl}n_l;$$

$$dF_{zl} = \tau_{xzl}l_l + \tau_{yzl}m_l + \sigma_{zl}n_l, \quad (3)$$

где  $dF_{xl}, dF_{yl}, dF_{zl}$  – проекции на соответствующие оси координат компонент давлений почвы на поверхность кротователя,  $l_l, m_l, n_l$  – направляющие косинусы нормали к поверхности рабочего органа.

Интегрирование выражений (3) по проекциям, перпендикулярным соответствующим индексам компонент давлений, дает величины составляющих сил сопротивления движению кротователя в почве (грунте):

$$F_{xl} = \int_{-r}^r \int_{-r}^B dF_{xl} d\eta_l d\zeta_l; F_{yl} = \int_{-r}^r \int_0^{L_l} dF_{yl} d\zeta_l d\eta_l; F_{zl} = \int_0^{B L_l} dF_{zl} d\zeta_l d\eta_l, \quad (4)$$

где  $-r, r; B; L_l$  -- проекции геометрических размеров лемеха на оси  $oz, oy, ox$ , соответственно.

Зависимости (4) в конечном виде не могут быть приведены в пределах публикации (вследствие их громоздкости).

Суммарное сопротивление перемещению лемешной части рабочего органа в почве состоит из составляющих сопротивления почвы  $F_{xl}, F_{yl}, F_{zl}$  и сил трения по поверхности лемеха, спроектированных на направление движения. Тогда общая сила сопротивления движению выразится следующим образом:

$$F_{xt} = F_{xl} + \left( \sqrt{(F_{yl} ml)^2 + (F_{zl} nl)^2} \right) \operatorname{tg} \psi, \quad (5)$$

где  $\psi$  – угол внешнего трения почвы по материалу поверхности лемеха.

Графически зависимости общего сопротивления движению и изменение плотности

почвы для величин коэффициентов плоскости, близким к рациональным, представлены на рисунке 5.

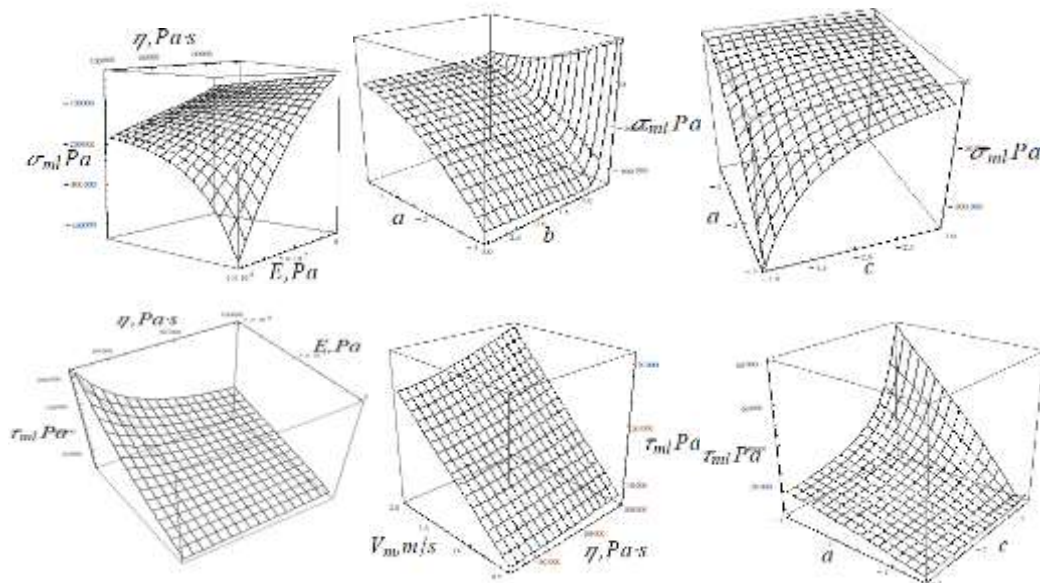


Рис. 3. Графики зависимостей гидростатических и наибольших касательных напряжений  $\sigma_{ml}, \tau_{ml}$  почвы от ее свойств  $E, \eta$ , скорости  $V_m$  перемещения лемеха и коэффициентов  $a, b, c$  уравнения его плоскости

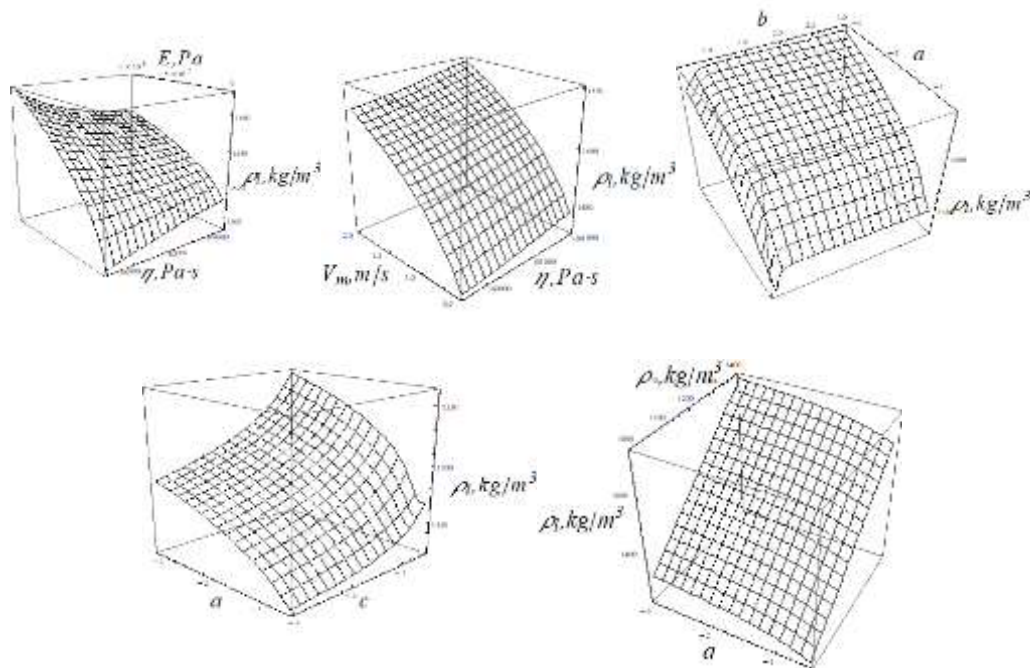
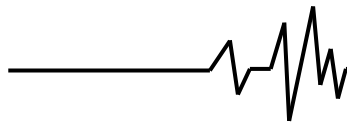


Рис. 4. Графики зависимостей изменения плотности почвы  $\rho$ , в зоне контакта с лемехом от ее свойств  $E, \eta$ , скорости  $V_m$  перемещения лемеха и коэффициентов  $a, b, c$  уравнения его плоскости

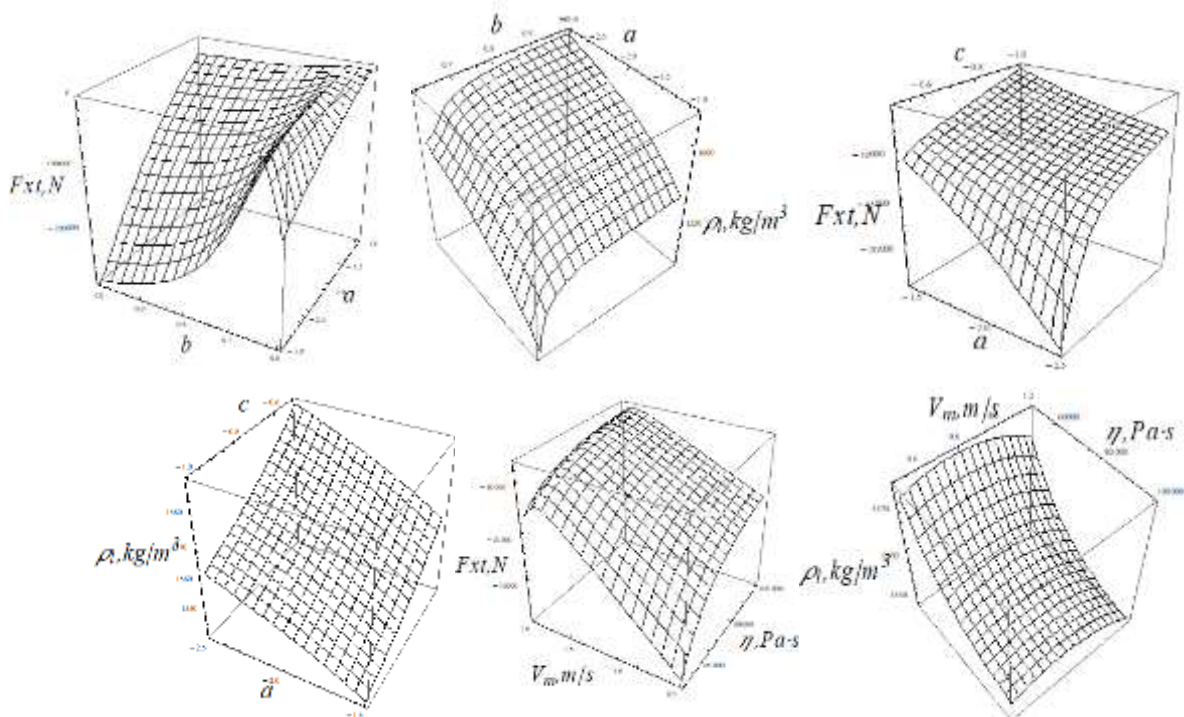


Рис. 5. Графики зависимостей сопротивления движению лемеха  $F_{xt}$  в направлении перемещения рабочего органа и изменения плотности почвы  $\rho$  от модуля вязкости почвы  $\eta$ , скорости  $V_m$  перемещения лемеха и коэффициентов  $a, b, c$  уравнения его плоскости

Основным изменением, достигаемым при работе лемеха, должно быть уплотнение почвы для того, чтобы в ней сохранялось пространство для протяжки экрана. При этом плотность почвы



должна возрастать. Поскольку на механические свойства почвы влияния оказать нельзя, то достигнуть ее максимального уплотнения можно изменением углов наклона нормали к поверхности лемеха по отношению к осям координат почвенного пространства и изменением скорости поступательного движения рабочего органа.

Анализируя влияние коэффициентов уравнения плоскости  $a, b, c$  на изменение плотности почвы (рис. 4), следует отметить, что коэффициент наклона  $b$  не оказывает влияния на изменение плотности почвы  $\rho_l$ , а увеличение коэффициента  $a$  приводит к возрастанию плотности почвы в зоне контакта. Аналогично, уменьшение коэффициента  $c$  приводит к возрастанию плотности почвы. К возрастанию плотности ведет и увеличение скорости поступательного движения рабочего органа  $V_m$ . Вместе с тем, следует принимать во внимание и изменение составляющих сил сопротивления движению рабочего органа (рис. 5). Итак, увеличение скорости движения  $V_m$ , уменьшение коэффициента  $c$  и увеличение коэффициента  $a$ , приводят к возрастанию сил сопротивления движению рабочего органа. То есть, для получения необходимого эффекта уплотненной стенки щели, которая обеспечит беспрепятственное протягивание экрана, необходимо затратить большие усилия..

**Выводы.** Таким образом, исследования показали, что для обеспечения беспрепятственной протяжки экрана (минимальное трение экрана о стенки щели) лемех может быть выполнен в виде плоскости с минимально возможными коэффициентами  $b < 1$  и  $c < -1$ , при этом коэффициент  $a \rightarrow -2$ , с учетом геометрических размеров такой плоскости. При таких параметрах плоскость лемеха обеспечит максимально возможное уплотнение почвы при наименее возможном сопротивлении движению рабочего органа.

#### Список использованных источников

1. Akutneva E. V. The use of subsoil irrigation in fruit growing. International Scientific Journal Theoretical & Applied Science. 2014. Issue: 10. Vol. 18. Published: 30.10.2014. <http://www.T-Science.org>
2. Багиров И. З. Исследование деформации и сопротивлений грунта с клином при различных скоростях: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук. / Минск. ВНИИ земледелия, 1963. 24 с.
3. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высш. школа, 1978. 447с.

4. Джонсон У., Меллор П. Теория пластичности для инженеров / пер. с англ. М.: Машиностроение, 1979. 568 с.

5. Ковбаса В. П., Курка В. П., Алі Ахмед Кадем. Про подолання труднощів при вирішенні контактних задач пружності. Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. Вип. 32. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. С. 79–86.

6. Кулен А., Куиперс Х. Современная земледельческая механика. М.: Агропромиздат, 1986. 349 с.

7. Кушнарев А. С. Механико-технологические основы процесса воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий на почву: дис. ... докт. техн. наук : 05.20.01 / Мелитополь, 1980. 329 с.

8. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды. М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 1960. 240 с.

9. Лурье А. И. Пространственные задачи теории упругости. М.: Гостехиздат, 1955. 492 с.

10. Marton Urban, Krisztian Kotrocz, Gyorgy Kerenyi. Investigation of the soil-tool interaction by SPH (Smooth Particle Hydrodynamics) based simulation. International Conference of Agriculture Engineering: CIGR-AgEng 2012, Valencia, Spanyolország 2012.07.08-2012.07.12. Valencia: Paper P-1437. Kiadvány: Valencia: 2012.

11. Ronald B. J. Brinkgreve. Selection of Soil Models and Parameters for Geotechnical Engineering Application. Conference InformationGeo-Frontiers Congress 2005 January 24-26, 2005 Austin, Texas, United States

12. Martin Obermayr, Klaus Dressler, Christos Vrettos, Peter Eberhard. Prediction of draft forces in cohesionless soil with the Discrete Element Method. Journal of Terramechanics Vol. 48. Issue 5. October 2011. P. 347-358.

13. Солоня О. В., Ковбаса В. П. Статика та динаміка взаємодії абсолютно твердих конкрецій із сипучим середовищем. Вібрації в техніці та технологіях 2019. №1(92). С. 12–22. [doi:10.37128/2306-8744-2019-1-2](https://doi.org/10.37128/2306-8744-2019-1-2)

#### Список джерел у транслітерації

1. Akutneva, E. V. (2014). Primenenie vnutripochvennogo orosheniya v plodovodstve [The use of subsoil irrigation in fruit growing]. International Scientific Journal Theoretical & Applied Science, 18. Retrieved from; <http://www.T-Science.org> [in Russian].
2. Bahyrov, Y. Z. (1963). Yssledovanye deformatsyy u soprotyvleniyi hrunta s klynom pry razlychnukh skorostiakh [The study of the deformation and resistance of the soil with a wedge at various speeds]. Extended abstract of candidate's thesis. Mynsk. VNYI zemledelyia [in Russian].
3. Vialov, S. S. (1978). Reolohycheskye osnovu mekhanyky hruntov [Rheological basis of soil



mechanics]. Moskva: Vusshaia shkola [in Russian].

4. Dzhonson, U. & Mellor, P. (1979). *Teoriya plastychnosti dlia ynzhenarov* [Theory of Plasticity for Engineers]. Moskva: Mashynostroenye [in Russian].

5. Kovbasa, V. P., & Kurka, V. P., & Kadem, Ali Akhmed (2015). Pro podolannia trudnoshchiv pry vyrishenni kontaktnykh zadach pruzhnosti [About podolannya difficulties in the case of contact problems of spring problems]. *Silskohospodarski mashyny: Zb. nauk. st. – Agricultural machinery: Coll. sciences. art.* 32, 79-86 [in Ukrainian].

6. Kulen, A., & Kuypers, Kh. (1986). *Sovremennaia zemledelcheskaia mekhanyka* [Modern agricultural mechanics]. Moskva: Ahropromyzzdat [in Russian].

7. Kushnarev, A. S. (1980). *Mekhaniko-tekhnolohycheskye osnovy protsessa vozdeistviya rabochykh orhanov pochvoobrabatuvaiushchykh mashyn y orudiy na pochvu* [Mechano-technological basis of the process of the impact of the working bodies of tillage machines and implements on the soil]. Doctor's thesis. Melytopol [in Russian].

8. Sokolovskiy, V. V. (1960). *Statyka supuchej sredy* [Static solids]. M.: Yzd-vo fiz.-mat. Lyteratury [in Russian].

9. Lure, A. Y. (1955). *Prostranstvennye zadachy teoryi uprugosti* [Spatial problems of the theory of elasticity]. M.: Hostekhyzzdat [in Russian].

10. Marton Urban, & Krisztian Kotroc, & Gyorgy Kerenyi (2012). Investigation of the soil-tool interaction by SPH (Smooth Particle Hydrodynamics) based simulation. *International Conference of Agriculture Engineering: CIGR-AgEng 2012, Valencia, Spanyolorszag 2012.07.08-2012.07.12.* Valencia: Paper P-1437. *Kiadvány: Valencia: 2012.* [in English].

11. Ronald, B. & Brinkgreve, J. (2005). Selection of Soil Models and Parameters for Geotechnical Engineering Application. *Conference Information Geo-Frontiers Congress 2005 January 24-26, 2005 Austin, Texas, United States.* [in English].

12. Solona, O. V. & Kovbasa, V. P. (2019). *Statyka ta dynamika vzaiemodii absolutno tverdych konkretnykh iz sybuchym seredovyschem* [Statics and dynamics of interaction of absolutely firm nodules with a loose medium]. *Vibratsii u tekhnitsi ta tekhnolohiiakh* [Vibrations in engineering and technology], 1(92), 12-22. [in Ukrainian].

13. Solona, O.V. & Kovbasa, V.P. (2019). Influence of geometric parameters of the treatment shower on the deformation characteristics of the soil when forming a cavity for an anti-filtration screen. *Vibratsii u tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. *Vibrations in engineering and technology*, 3(94), 76-83. [in English]. [doi:10.37128/2306-8744-2019-1-2](https://doi.org/10.37128/2306-8744-2019-1-2)

## ДИНАМІКА КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЛЕМІША КРОТУВАЧА З ҐРУНТОМ ПРИ УТВОРЕННІ ПОРОЖНИНИ

Щоб підтримувати вологість і краще розподіляти її в горизонтальному напрямку в ґрунті при поливі сільськогосподарських рослин, необхідно укласти зволожувачі разом з непроникним екраном. Для цієї мети може бути використаний кротувач. Обґрунтування геометричних параметрів цього робочого органу і режимів його роботи є актуальною науковою проблемою. Вирішення цієї проблеми вимагає формалізації ґрунту, як середовища, на яке спрямована дія робочого органу, а також формалізації взаємодії його з ґрунтом.

У даній статті розглядається динаміка роботи леміша, що утворює горизонтальну щілину, в яку протягується протифільтраційний екран.

Для цього розглянуто взаємодію леміша кротувача з ґрунтом в зоні контакту при ущільненні стінок утвореної порожнини. При цьому ступінь ущільнення стінок впливає на стійкість зводу утвореної щілини. У дослідженні ґрунт представлений як пружно-в'язкедеформівне середовище, а леміш – як абсолютно тверде тіло. Поверхня цього тіла описана тривимірним рівнянням у неявному вигляді, коефіцієнти якого характеризують геометричні параметри робочого органу.

У попередній статті авторів були отримані залежності швидкостей деформацій ґрунту від дії робочого органу. На основі функцій деформацій із використанням фізичних рівнянь зв'язку напружень із деформаціями отримані залежності компонент напружень від механічних властивостей ґрунту й параметрів робочого органу.

Компоненти напружень, отримані в зоні контакту леміша з ґрунтом, дозволили визначити функцію зміни питомого об'єму ґрунту. Ця функція обернено пропорційна щільності ґрунту.

Використання рівнянь рівноваги на поверхні контакту дозволило визначити компоненти сил, які діють з боку ґрунту на леміш. Інтегрування отриманих компонент розподілених сил по поверхнях леміша дозволило отримати суму сил опору руху леміша як функцію механічних властивостей ґрунту та параметрів робочого органу.

В результаті проведених досліджень визначені раціональні параметри коефіцієнтів рівняння поверхні леміша, які характеризують його геометричні параметри.

**Ключові слова:** пружно-в'язкедеформівне середовище, механічні властивості ґрунту, компоненти напружень, леміш кротувача, компоненти сил опору, геометричні параметри робочого органу.





## DYNAMICS INTERACTION OF THE SHARE MOLE PLOW WITH SOIL IN THE FORMATION OF THE CAVITY FOR IMPERVIOUS SCREEN

To maintain moisture and best spread it in the horizontal direction under in-soil irrigation of agricultural plants there is a necessity of laying moisturizers together with an impermeable screen. For this purpose, share mole plow can be used. Substantiation of tool's geometrical parameters and modes of operation is an actual scientific problem. Solution of this problem requires formalizing the soil as the medium on which the tool is directed, as well as formalizing the interaction of the tool with the soil. This article discusses the dynamics of the ploughshare forming a horizontal gap into which the anti-filter screen extends. For this, the interaction of the ploughshare of the mole with the soil in the contact zone during compaction of the walls of the formed cavity is under considered. Herewith, the degree of compaction of the walls affects the stability of the arch of the formed cavity. During the study, the soil is presented in the form of an elastic viscous deformable medium, and the ploughshare - in the form of an absolutely solid. The surface of this solid is described by a three-dimensional equation in an implicit form, the coefficients of which characterize the geometric parameters of the tool. In a previous article, the authors obtained functions of the rates of

soil deformations from the action of the tool. Based on the strains functions with use the physical equations of the connection between stress and strains, the functions of the stress components on the mechanical properties of the soil and the parameters of the tool are obtained. The stress components obtained in the contact zone of the ploughshare with the soil made it possible to determine the function of changing the specific volume of the soil. This function is inversely proportional to soil density. The use of equilibrium equations on the contact surface made it possible to determine the components of the forces that act from the soil side on the ploughshare.

Integration of the obtained components of the distributed forces over the ploughshare surfaces made it possible to obtain the sum of the resistance forces to the ploughshare movement, depending on the mechanical properties of the soil and tool parameters.

As a result of the study, rational parameters of the equation coefficients of the ploughshare surface that characterize its geometric parameters are determined.

**Key words:** *elastic-viscous deformable medium, mechanical properties of the soil, stress components, ploughshare of the mole, components of resistance forces, geometric parameters of the tool.*

### Відомості про авторів

**Солона Олена Василівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загально технічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: [solona\\_o\\_v@ukr.net](mailto:solona_o_v@ukr.net)).

**Ковбаса Володимир Петрович** – доктор технічних наук, професор кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: [kovbasav@ukr.net](mailto:kovbasav@ukr.net) )

**Мельник Олександр Сергійович** – магістрант кафедри фінансів, банківської справи та страхування, Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: [millermanel@gmail.com](mailto:millermanel@gmail.com) )

**Солона Елена Васильевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: [solona\\_o\\_v@ukr.net](mailto:solona_o_v@ukr.net) ).

**Колбаса Владимир Петрович** - доктор технических наук, профессор кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: [kovbasav@ukr.net](mailto:kovbasav@ukr.net))

**Мельник Александр Сергеевич** - магистрант кафедры финансов, банковского дела и страхования, Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: [millermanel@gmail.com](mailto:millermanel@gmail.com))

**Solona Olena** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection, Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyschaya St., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: [solona\\_o\\_v@ukr.net](mailto:solona_o_v@ukr.net)).

**Kovbasa Vladimir** - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection, Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyschaya St, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: [kovbasav@ukr.net](mailto:kovbasav@ukr.net))

**Oleksandr Melnik** - Master's student of the Department of Finance, Banking and Insurance, Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna Street, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: [millermanel@gmail.com](mailto:millermanel@gmail.com))