

су від початку термічного впливу до займання деревини (тобто з подовженням початкової стадії розвитку пожежі), її доцільно використовувати під час розроблення компонентного складу водних вогнебіозахисних речовин.

### Література

1. Lowden L.A. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction / Laura Anne Lowden, Terence Richard Hull // *Fire Science Reviews – a Springer Open Journal*. – 2013, 2:4. – 19 p. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.firesciencereviews.com/content/2/1/4>
2. Lowden L.A. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction / L.A. Lowden // *Fire Science Reviews – a Springer Open Journal*. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.firesciencereviews.com/content/2/1/4> (Accessed 5 August 2013).
3. Баратов А.Н. Пожарная опасность строительных материалов / А.Н. Баратов, Р.А. Андрианов, А.Я. Корольченко и др. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1998. – 380 с.
4. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. – М. : Изд-во "Атомиздат", 1979. – 416 с.
5. Андриченко В.М. Вогнезахист деревини та виробів з неї : навч. посіб. / В.М. Андриченко, В.П. Бут, В.М. Жартовський, С.В. Жартовський, І.Г. Маладика, Ю.В. Цапко. – Черкаси : Вид-во АПБ ім. Героїв Чорнобиля МНС України, 2009. – 254 с.
6. Чумаченко С.М. Методика розроблення математичної моделі розподілу антипіренів в середині вогнезахисної деревини / С.М. Чумаченко, С.В. Жартовський, О.М. Тітенко, В.В. Троцько // *Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць*. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2016. – Вип. 26.5. – С. 378-385.
7. Charles W. George. Effects of ammonium sulfate ammonium phosphate on the pyrolysis and combustion of cellulose / Charles W. George and Ronald A. Sussott // *USDA Forest Service Research Paper INT-90 April 1971. Intermountain Forest and Range Experiment Station Forest Service U.S. Department of Agriculture Ogden, Utah 84401 Joseph F. Pechanec, Director*.
8. ТУ У 24.6-32528450-001-2003 Суміші просочувальні для поверхневої вогнебезопасної оброблення деревини.
9. Pradyot Patnaik, Ph.D. *Handbook of Inorganic Chemicals*/McGraw-Hill, 2002.
10. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. К.П. Мищенко и А.А. Равделя. – Л. : Изд-во "Химия", 1974. – 200 с.
11. Араманович И.Г. Уравнения математической физики / И.Г. Араманович, В.И. Левин. – М. : Изд-во "Наука", 1969. – 288 с.
12. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Изд-во "Наука", 1973. – 832 с.

Надійшла до редакції 25.11.2016 р.

### **Чумаченко С.М., Жартовський С.В., Тітенко О.М. Методика создания математической модели охлаждающего эффекта в процессе нагревания образца древесины, пропитанного водным огнебиозащитным веществом**

Разработана методика создания математической модели охлаждающего эффекта в процессе нагревания образца древесины, пропитанной водным огнебиозащитным веществом. Результаты математического моделирования указывают на существенный охлаждающий эффект от использования предложенных антипиренов для огнезащиты древесины, поскольку интервал времени от начала теплового воздействия до момента начала пламенного горения для огнезащитной древесины в два с половиной раза больше, чем для неогнезащитной. Представленная методика связывает охлаждающий эффект от использования водных огнебиозащитных веществ для огнезащиты древесины с вкладом в прогнозное увеличение времени начальной стадии развития пожара, её целесообразно использовать при разработке компонентного состава водных огнебиозащитных веществ.

**Ключевые слова:** методика, модель, антипирены, огнезащитная пропитка, водное огнебиозащитное вещество.

### **Chumachenko S.M., Zhartovskyi S.V., Titenko O.M. The Methodology of Creating the Mathematical Model of Cooling Effect during Heating of Wood Sample Impregnated by Water Based Flameproofing Matter**

The methodology of creating the mathematical model of cooling effect during heating of wood sample impregnated by water based on the matter for flameproofing is developed. Mathematical modelling results indicate a significant cooling effect by the use of proposed flame retardants for fire protection of wood, as the time interval from the start of the heat exposure to the start of the flaming fire resistant wooden sample in two and a half times greater than fire non-resistant one. The presented method connects the cooling effect of water based flameproofing matter for fire protection of wood with a contribution to predicted increase of initial stage of fire development, it is useful for development of the component composition of water based flameproofing matter.

**Keywords:** methodology, model, flame retardants, flame retardant impregnation, water based flameproofing matter.

УДК 631.3+674]

### **О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РАБОЧЕГО ОРГАНА С ПОЧВОЙ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ КРОВОТИНЫ**

*Хайдер Раад Надим Аль-Хазали<sup>1</sup>, В.П. Ковбаса<sup>2</sup>*

Приведены результаты исследований взаимодействия конусного кротователя с почвой по определению компонент скоростей деформаций почвы, представленной в виде упруго-вязкой модели, на поверхности контакта этого рабочего органа с почвой. Эти выражения являются исходными для дальнейшего определения компонент напряжений в почве, которые позволяют определить уплотнение почвы на стенках образованной кротовины и составляющие сил сопротивления перемещению кротователя.

**Ключевые слова:** кротователь, почва, конус, компоненты скоростей, компоненты деформаций, контактное взаимодействие.

**Введение.** Во многих процессах, связанных с изменением механических свойств почвы при строительстве ирригационных и инженерных сооружений, возникают задачи об образовании дрен внутри почвенного горизонта. При этом используются кротователи различной геометрической формы и размеров. В частности, для прокладки дренажных (оросительных) трубопроводов либо кабелей методом протяжки возникает необходимость образования полости (с целью снижения сопротивления трения протягивания), по которой протягивается коммуникация. Поэтому обоснование геометрических параметров и режимов работы рабочего органа для образования этой полости является актуальной научной задачей.

**Анализ состояния исследований.** Анализируя состояние исследований взаимодействия рабочих органов с почвой, следует отметить существование двух составляющих данного вопроса. Первый относится к формализации самой почвы, как среды, на которую направлено действие рабочего органа, а второй относится к формализации взаимодействия самого рабочего органа с почвой и вытекает из способа формализации почвы и, следовательно, возможности са-

<sup>1</sup> аспир. Хайдер Раад Надим Аль-Хазали – НУ биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев;

<sup>2</sup> проф. В.П. Ковбаса, д-р техн. наук – НУ биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

мой схеми формалізації взаємодії. Относно первого вопроса следует отметить, что за последнее десятилетие существенных изменений в формализации почвы (грунта) не произошло. Поэтому по форме представления модели строения почвы все работы, которые касаются взаимодействия с нею рабочих органов, можно разделить на пять групп: 1) твердое тело; 2) сплошная упругая среда; 3) сплошная несжимаемая сыпучая среда; 4) сплошная упруго-вязко-пластическая среда; 5) формализация методами теории подобия и размерностей [1-4, 7, 9]. Исходя из этого, чаще всего используются модели, больше напоминающие взаимодействие с абсолютно твердым телом, или модели, используемые в классической теории механики грунтов, которые основаны на механике сыпучих сред [11]. Кроме того, при построении моделей взаимодействия чаще всего используются либо одномерные модели, либо в лучшем случае плоские решения, которые не всегда отображают реальный процесс изменений свойств почвы (грунта) под действием рабочего органа [8, 9].

При этом следует отметить, что плотность почвы (грунта) под воздействием рабочего органа изменяется в функции изменения всех шести компонент деформаций или напряжений, что не может быть отображено в плоской постановке задачи, а тем более – в одномерной. Кроме того, такие постановки задачи не позволяют определить все три составляющие сопротивления движению рабочего органа в почве (грунте). Поэтому решение задачи о взаимодействии рабочего органа с почвой (грунтом) в трехмерной постановке с установлением взаимосвязи геометрических параметров и режимов работы самого рабочего органа и изменением свойств почвы (грунта), а также компонент тягового сопротивления является актуальной задачей, которая требует решения.

В связи с этим целью исследования является определение скоростей относительных деформаций в зоне контакта конусного кротователя с почвой в зависимости от геометрических и кинематических параметров рабочего органа.

**Изложение основного материала.** В самом общем случае геометрические параметры и режимы работы рабочего органа могут быть представлены в виде схемы, приведенной на рис. 1. Рассмотрим работу конусной части рабочего органа.

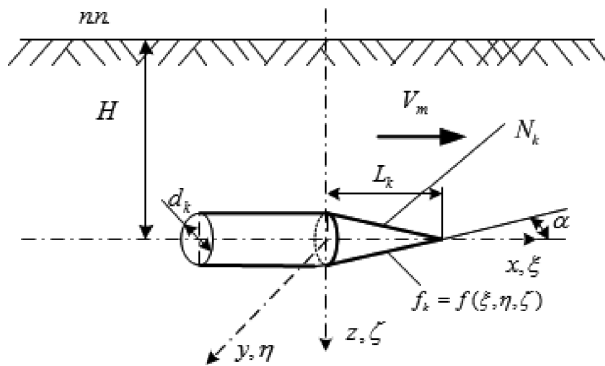


Рис. 1. Конусный рабочий орган для образования кротовины

Рабочий орган представлен составным телом, состоящим из конусной части, которая переходит в цилиндрическую. Основная рабочая часть, которая взаимодействует с почвой (грунтом), – это конусная часть. Рабочий орган движется в направлении оси  $ox$  на глубине  $H$  от поверхности почвы со скоростью  $V_m$ . Форма поверхности конуса в системе координат  $\xi, \eta, \zeta$ , которая совпадает с системой координат почвы (грунта)  $x, y, z$ , может быть представлена уравнением для действительного конуса в неявном виде:  $f_k = -\frac{\xi^2}{a^2} + \frac{\eta^2}{b^2} + \frac{\zeta^2}{c^2} = 0$ . Для случая прямолинейной образующей и осевой симметрии относительно оси  $o\xi$  коэффициенты  $a = b = r$ , а коэффициент  $a = 1/\text{tg}\alpha$ , где  $\alpha$  – угол наклона образующей к оси  $o\xi$ . В этом случае, с учетом смещения острия конуса на величину  $L_k$ , уравнение конуса будет иметь вид:  $-\frac{(L_k - \xi)^2}{r^2} + \frac{\eta^2 + \zeta^2}{a^2} = 0$ . Уравнения координат поверхности конуса выразятся зависимостями:

$$\xi = \frac{a^2 L_k \pm \sqrt{a^2 r^2 \zeta^2 + a^2 r^2 \eta^2}}{a^2}, \quad \eta = \pm \frac{\sqrt{a^2 L_k^2 - r^2 \zeta^2 - 2a^2 L_k \xi + a^2 \xi^2}}{r},$$

$$\zeta = \pm \frac{\sqrt{a^2 L_k^2 - r^2 \eta^2 - 2a^2 L_k \xi + a^2 \xi^2}}{r},$$

где  $r$  – радиус конуса у основания.

Косинусы углов наклона нормали к поверхности конуса к осям координат  $o\xi, o\eta, o\zeta$  выразятся зависимостями:

$$l_k = \frac{\partial f_k / \partial \xi}{\sqrt{(\partial f_k / \partial \xi)^2 + (\partial f_k / \partial \eta)^2 + (\partial f_k / \partial \zeta)^2}}, \quad m_k = \frac{\partial f_k / \partial \eta}{\sqrt{(\partial f_k / \partial \xi)^2 + (\partial f_k / \partial \eta)^2 + (\partial f_k / \partial \zeta)^2}},$$

$$n_k = \frac{\partial f_k / \partial \zeta}{\sqrt{(\partial f_k / \partial \xi)^2 + (\partial f_k / \partial \eta)^2 + (\partial f_k / \partial \zeta)^2}}.$$

Далее, если спроектировать скорость поступательного движения  $V_m$  на нормаль к поверхности конуса и далее эту нормальную составляющую спроектировать на оси координат  $o\xi, o\eta, o\zeta$ , то можно получить компоненты скоростей перемещений на оси координат в виде:  $u_{k0} = V_m; v_{k0} = \frac{r^2 V_m \eta}{a^2 (L_k - \xi)}; w_{k0} = \frac{r^2 V_m \zeta}{a^2 (L_k - \xi)}$ .

Эти выражения будут исходными для решения контактной задачи взаимодействия конуса с почвой (грунтом) в кинематической постановке.

Аналитические решения для контактных задач возможны лишь в упругой или упруго-вязкой постановке. Причем эти решения допускаются лишь для случая, когда при последовательных подстановках геометрических уравнений в физические уравнения связи напряжений с деформациями и дальнейшей подстановки полученных компонент напряжений в уравнения статики (динамики) сплошной среды будут получены уравнения эллиптического типа. В таком случае решение может быть найдено при использовании бигармонических потенциальных функций, которые удовлетворяют условия на поверхности контакта тела (система координат  $\xi, \eta, \zeta$ ) и среды, с которой оно взаимодействует (система

ма координат  $x, y, z$ ), т. е. при  $x-\xi=0, y-\eta=0, z-\zeta=0$  компоненты скоростей (перемещений) равны их начальным значениям. Для нашего случая это означает, что компоненты скоростей для конуса имеют вид:  $u_k|_{x-\xi=0, y-\eta=0, z-\zeta=0} = u_{k0}$ ,  $v_k|_{x-\xi=0, y-\eta=0, z-\zeta=0} = v_{k0}$ ,  $w_k|_{x-\xi=0, y-\eta=0, z-\zeta=0} = w_{k0}$ . Второе условие, которому должны удовлетворять бигармонические потенциальные функции, имеет вид:  $u_k|_{x-\xi=\infty, y-\eta=\infty, z-\zeta=\infty} \rightarrow 0$ ,  $v_k|_{x-\xi=\infty, y-\eta=\infty, z-\zeta=\infty} \rightarrow 0$ ,  $w_k|_{x-\xi=\infty, y-\eta=\infty, z-\zeta=\infty} \rightarrow 0$ . Такие бигармонические потенциальные функции, согласно [10], имеют вид:

$$\begin{aligned} u_k &= \int_{\eta_{k0}}^{\eta_{kk}} \int_{\zeta_{k0}}^{\zeta_{kk}} \frac{a_0 u_{k0}(x-\xi_k+\delta)}{((x-\xi_k+\delta)^2+(y-\eta_k+\delta)^2+(z-\zeta_k+\delta)^2)^{3/2}} d\zeta_k d\eta_k; \\ v_k &= \int_{\zeta_{k0}}^{\zeta_{kk}} \int_{\xi_{k0}}^{\xi_{kk}} \frac{a_0 v_{k0}(y-\eta_i+\delta)}{((x-\xi_i+\delta)^2+(y-\eta_i+\delta)^2+(z-\zeta_i+\delta)^2)^{3/2}} d\xi_k d\zeta_k; \\ w_k &= \int_{\eta_{k0}}^{\eta_{kk}} \int_{\xi_{k0}}^{\xi_{kk}} \frac{a_0 w_k(z-\zeta_i+\delta)}{((x-\xi_k+\delta)^2+(y-\eta_k+\delta)^2+(z-\zeta_i+\delta)^2)^{3/2}} d\xi_k d\eta_k, \end{aligned} \quad (1)$$

где:  $\xi_{k0}, \eta_{k0}, \zeta_{k0}, \xi_{kk}, \eta_{kk}, \zeta_{kk}$  – начальные и конечные значения координат конуса,  $a_0 = \frac{1}{\pi \text{Log}[-\delta + \sqrt{3}\sqrt{\delta^2}] - \text{Log}[\delta + \sqrt{3}\sqrt{\delta^2}]}$  – коэффициент, обеспечивающий выполнение начальных условий при введении малой величины  $\delta$ , которая устраняет сингулярность выражений (1). Бигармонические потенциальные функции должны удовлетворять уравнению  $\Delta^2 f = 0$ , где  $\Delta$  – оператор Лапласа, а  $f = \{u_k, v_k, w_k\}$  (рис. 2).

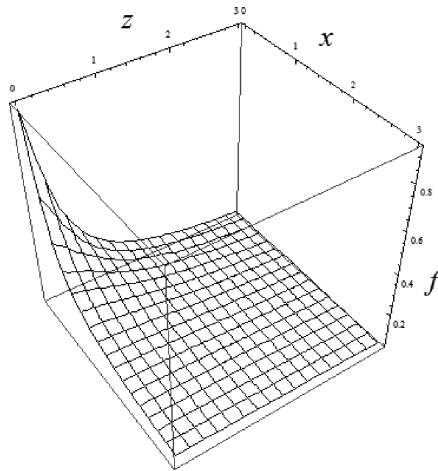


Рис. 2. Графическое представление вида функций (1)

В связи со сложностью интегрирования уравнений (1), которые представляют собой компоненты скоростей перемещений почвы (грунта) в пространстве перед рабочим органом в общем виде, можно решать задачу о нахождении рас-

пространения скоростей перемещений, скоростей относительных деформаций, компонент напряжений в дифференциальном виде, как это было предложено в [5, 6]. Суть метода состоит в том, что для нахождения компонент скоростей деформаций предполагается дифференцирование уравнений (1) согласно геометрическим уравнениям (уравнениям Коши) теории сплошных сред.

Для этого можно преобразовать уравнения (1) таким образом, в результате которого будут получены компоненты дифференциальных составляющих компонент скоростей смещений почвы (грунта) перед рабочим органом:

$$\begin{aligned} du_k &= \frac{d^2}{d\eta_k d\zeta_k} \int_{\eta_{k0}}^{\eta_{kk}} \int_{\zeta_{k0}}^{\zeta_{kk}} \frac{a_0 u_{k0}(x-\xi_k+\delta)}{((x-\xi_k+\delta)^2+(y-\eta_k+\delta)^2+(z-\zeta_k+\delta)^2)^{3/2}} d\zeta_k d\eta_k = \\ &= \frac{a_0 u_{k0}(x-\xi_k+\delta)}{((x-\xi_k+\delta)^2+(y-\eta_k+\delta)^2+(z-\zeta_k+\delta)^2)^{3/2}} = \\ &= \frac{a_0 V_m(x+\delta-\xi_k)}{((z+\delta-\zeta_k)^2+(y+\delta-\eta_k)^2+(x+\delta-\xi_k)^2)^{3/2}}; \\ dv_k &= \frac{d^2}{d\zeta_k d\xi_k} \int_{\zeta_{k0}}^{\zeta_{kk}} \int_{\xi_{k0}}^{\xi_{kk}} \frac{a_0 v_{k0}(y-\eta_k+\delta)}{((x-\xi_k+\delta)^2+(y-\eta_k+\delta)^2+(z-\zeta_k+\delta)^2)^{3/2}} d\xi_k d\zeta_k = \\ &= \frac{a_0 v_{k0}(y-\eta_k+\delta)}{((x-\xi_k+\delta)^2+(y-\eta_k+\delta)^2+(z-\zeta_k+\delta)^2)^{3/2}} = \\ &= \frac{a_0 r^2 V_m(y+\delta-\eta)\eta}{a^2((z+\delta-\zeta)^2+(y+\delta-\eta)^2+(x+\delta-\xi)^2)^{3/2}(L_k-\xi)}; \\ dw_k &= \frac{d^2}{d\eta_k d\zeta_k} \int_{\eta_{k0}}^{\eta_{kk}} \int_{\xi_{k0}}^{\xi_{kk}} \frac{a_0 w_k(z-\zeta_i+\delta)}{((x-\xi_k+\delta)^2+(y-\eta_k+\delta)^2+(z-\zeta_k+\delta)^2)^{3/2}} d\xi_k d\eta_k = \\ &= \frac{a_0 w_k(z-\zeta_k+\delta)}{((x-\xi_k+\delta)^2+(y-\eta_k+\delta)^2+(z-\zeta_k+\delta)^2)^{3/2}} = \\ &= \frac{a_0 r^2 V_m(z+\delta-\zeta_k)\zeta_k}{a^2((x-\xi_k+\delta)^2+(y-\eta_k+\delta)^2+(z-\zeta_k+\delta)^2)^{3/2}(L_k-\xi_k)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Из уравнений (2) можно получить дифференциальные компоненты скоростей деформаций почвы (грунта), используя геометрические уравнения (уравнения Коши):

$$\begin{aligned} d\dot{\epsilon}_{xk} &= \frac{d}{dx} du_k = \frac{a_0 V_m((z+\delta-\zeta_k)^2+(y+\delta-\eta_k)^2-2(x+\delta-\xi_k)^2)}{((z+\delta-\zeta_k)^2+(y+\delta-\eta_k)^2+(x+\delta-\xi_k)^2)^{5/2}}; \\ d\dot{\epsilon}_{yk} &= \frac{d}{dy} dv_k = \frac{a_0 r^2 V_m \eta_k ((z+\delta-\zeta_k)^2-2(y+\delta-\eta_k)^2+(x+\delta-\xi_k)^2)}{a^2((z+\delta-\zeta_k)^2+(y+\delta-\eta_k)^2+(x+\delta-\xi_k)^2)^{5/2}(L_k-\xi_k)}; \\ d\dot{\epsilon}_{zk} &= \frac{d}{dz} dw_k = \frac{a_0 r^2 V_m \zeta_k (-2(z+\delta-\zeta_k)^2+(y+\delta-\eta_k)^2+(x+\delta-\xi_k)^2)}{a^2((z+\delta-\zeta_k)^2+(y+\delta-\eta_k)^2+(x+\delta-\xi_k)^2)^{5/2}(L_k-\xi_k)}; \\ d\dot{\gamma}_{xyk} &= \frac{d}{dy} du_k + \frac{d}{dx} dv_k = \frac{3a_0 V_m (y+\delta-\eta_k)(r^2 \eta_k + a^2(L_k-\xi_k))(x+\delta-\xi_k)}{a^2((z+\delta-\zeta_k)^2+(y+\delta-\eta_k)^2+(x+\delta-\xi_k)^2)^{5/2}(-L_k+\xi_k)}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$d\dot{\gamma}_{xzk} = \frac{d}{dz} du_k + \frac{d}{dx} dw_k = \frac{3a_0 V_m (z + \delta - \zeta_k)(r^2 \zeta_k + a^2 (L_k - \xi_k))(x + \delta - \xi_k)}{a^2 ((z + \delta - \zeta_k)^2 + (y + \delta - \eta_k)^2 + (x + \delta - \xi_k)^2)^{5/2} (-L_k + \xi_k)};$$

$$d\dot{\gamma}_{yzk} = \frac{d}{dz} dv_k + \frac{d}{dy} dw_k = \frac{3a_0 r^2 V_m (z + \delta - \zeta_k)(y + \delta - \eta_k)(\zeta_k + \eta_k)}{a^2 ((z + \delta - \zeta_k)^2 + (y + \delta - \eta_k)^2 + (x + \delta - \xi_k)^2)^{5/2} (-L_k + \xi_k)};$$

где  $d\dot{\epsilon}_{xk}, d\dot{\epsilon}_{yk}, d\dot{\epsilon}_{zk}, d\dot{\gamma}_{xyk}, d\dot{\gamma}_{xzk}, d\dot{\gamma}_{yzk}$  – компоненты дифференциальных составляющих скоростей относительных нормальных и сдвиговых деформаций почвы (грунта) перед конусным рабочим органом.

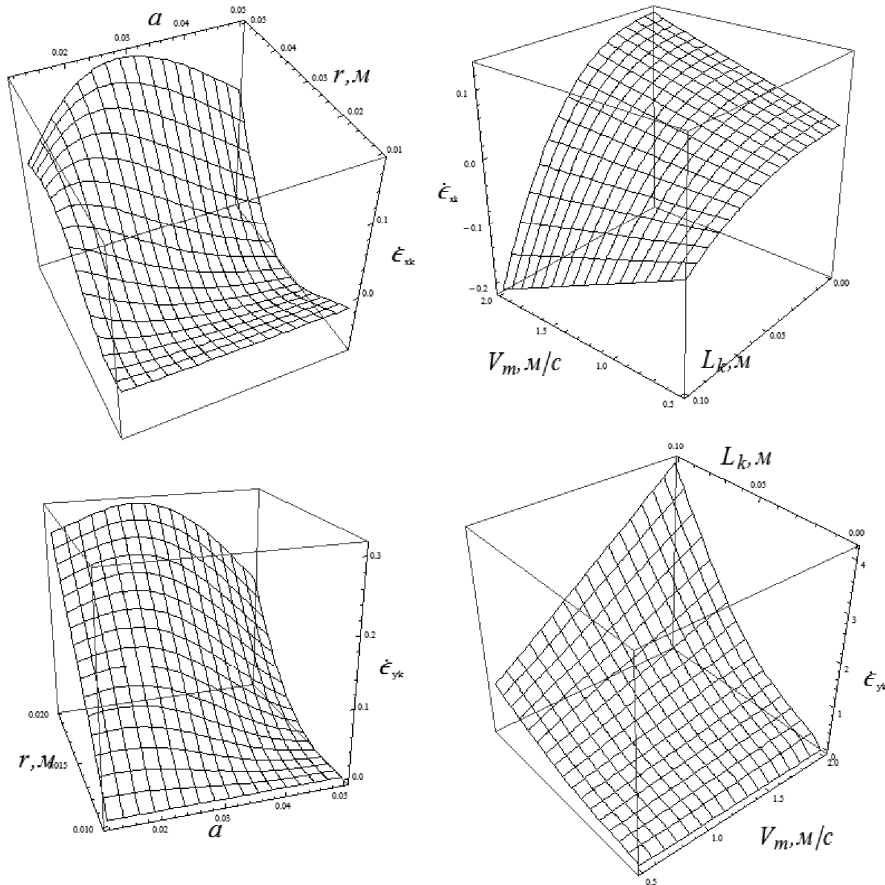


Рис. 3. Графики изменений компонент скоростей нормальных деформаций  $\dot{\epsilon}_{xk}, \dot{\epsilon}_{yk}$  в зависимости от остроты конуса  $\alpha$ , выноса острия  $L_k$ , радиуса основания  $r$  и скорости его перемещения в почве (грунта)  $V_m$

Для понимания характера воздействия рабочего органа в зоне непосредственного контакта с почвой (грунтом), а именно его геометрических форм и размеров, на изменения компонент относительных деформаций выражения (3) можно проинтегрировать согласно выражениям (1), учитывая то, что анализу

подлежит зона непосредственного контакта, а именно условия:  $\{\zeta_k - z = 0, \eta_k - y = 0, \xi_k - x = 0\}$ . Это существенно упрощает выражения (3). К сожалению, в развернутом виде привести конечные выражения компонент скоростей деформаций  $\dot{\epsilon}_{xk}, \dot{\epsilon}_{yk}, \dot{\epsilon}_{zk}, \dot{\gamma}_{xyk}, \dot{\gamma}_{xzk}, \dot{\gamma}_{yzk}$ , в пределах статьи не представляется возможным из-за громоздкости конечных выражений. Графическая интерпретация этих выражений представлена на рис. 3, 4.

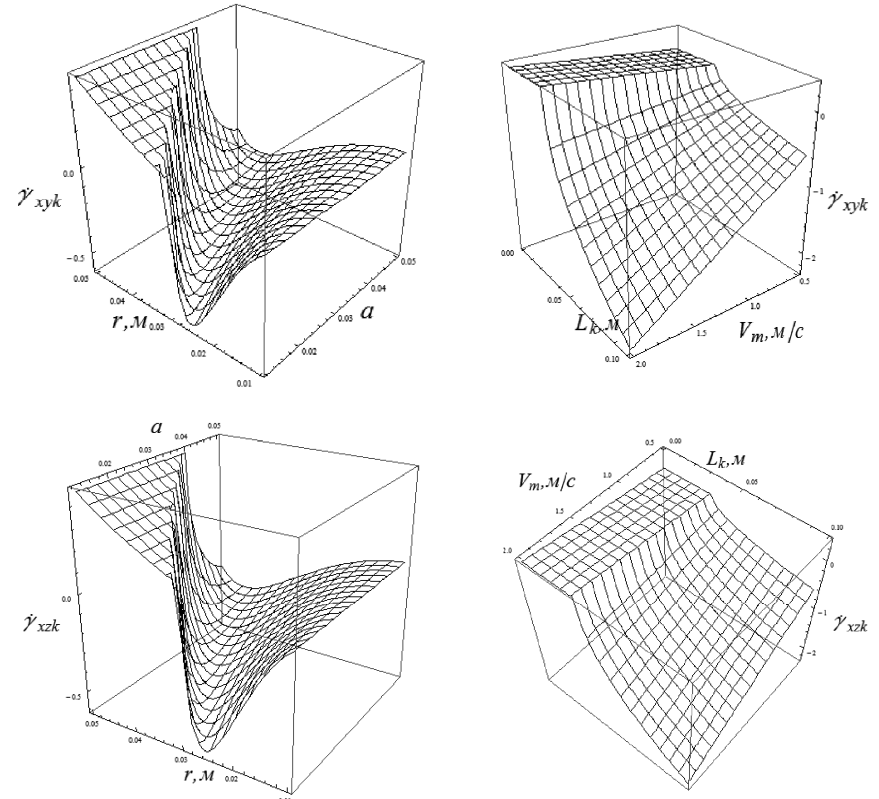


Рис. 4. Графики изменений компонент скоростей сдвиговых деформаций  $\dot{\gamma}_{xyk}, \dot{\gamma}_{xzk}$  в зависимости от остроты конуса  $\alpha$ , выноса острия  $L_k$ , радиуса основания  $r$  и скорости его перемещения в почве (грунта)  $V_m$

Вследствие симметрии конуса относительно оси  $o\xi$  компонента скоростей нормальной деформации  $\dot{\epsilon}_{zk}$  аналогична  $\dot{\epsilon}_{yk}$ . Аналогично, вследствие симметрии конуса относительно оси  $o\xi$  компонента скоростей сдвиговой деформации  $\dot{\gamma}_{xyk}$  аналогична  $\dot{\gamma}_{xzk}$ .

Анализ продольных нормальных скоростей деформаций  $\dot{\epsilon}_{xk}$  почвы (грунта) под действием конусного рабочего органа свидетельствует о том, что с увеличением радиуса  $r$  основания конуса скорость деформации возрастает, при этом уменьшение остроты конуса  $\alpha$  ведет сначала к росту скорости деформации до

значения  $a = 0,03$ , а дальнейшее уменьшение остроты ведет к уменьшению скорости деформации, причем это проявляется в большей степени при увеличении радиуса основания.

Скорость  $V_m$  движения конуса не оказывает существенного влияния на скорость нормальной компоненты деформаций  $\dot{\epsilon}_{xk}$ , в то время как вынос острия конуса  $L_k$  вперед по оси от точки в которой анализируется компонента деформации, приводит к снижению данной компоненты скорости деформации.

Анализ поперечных компонент нормальных скоростей деформаций  $\dot{\epsilon}_{yk}, \dot{\epsilon}_{zk}$  почвы (грунта) под действием конусного рабочего органа свидетельствует о том, что с увеличением радиуса  $r$  основания конуса (аналогично продольной компоненте) скорость деформации возрастает, при этом уменьшение остроты конуса  $a$  ведет сначала к росту скорости деформации до значения  $a = 0,03$ , а дальнейшее уменьшение остроты ведет к уменьшению скорости деформации, причем это проявляется в большей степени при увеличении радиуса основания.

Скорость  $V_m$  движения конуса не оказывает существенного влияния на скорость нормальной компоненты деформаций  $\dot{\epsilon}_{yk}, \dot{\epsilon}_{zk}$  при наличии выноса острия конуса от рассматриваемого сечения. Вынос острия конуса  $L_k$  вперед по оси от точки, в которой анализируется компонента деформации, приводит к существенному увеличению компонент поперечных скоростей деформаций  $\dot{\epsilon}_{yk}, \dot{\epsilon}_{zk}$ .

Переходя к анализу сдвиговых составляющих скоростей деформаций в продольно-поперечной  $\dot{\gamma}_{xyk}$  и продольно-вертикальной  $\dot{\gamma}_{xzk}$  плоскостях, следует отметить, что увеличение радиуса основания до  $r = 0,03$  м вызывает снижение скоростей этих деформаций в рассматриваемом сечении, дальнейшее же увеличение радиуса основания ведет к возрастанию скоростей этих деформаций. В то же время, затупление конуса вызывает рост деформаций в продольно-поперечной  $\dot{\gamma}_{xyk}$  и продольно-вертикальной  $\dot{\gamma}_{xzk}$  плоскостях лишь при больших значениях радиуса основания конуса. Скорости деформаций в продольно-поперечной  $\dot{\gamma}_{xyk}$  и продольно-вертикальной  $\dot{\gamma}_{xzk}$  плоскостях возрастают как с увеличением скорости  $V_m$  перемещения конуса, так и с увеличением выноса  $L_k$  острия по отношению к рассматриваемому сечению. Аналогичная картина характерна для скорости сдвиговой деформации в поперечно-вертикальной плоскости  $\dot{\gamma}_{yzk}$ . Что касается этой скорости в зависимости от радиуса  $r$  основания конуса и от его остроты, которую характеризует величина  $a$ , то следует отметить, что существует явно выраженный максимум скорости деформации  $\dot{\gamma}_{yzk}$ , который зависит от соотношений факторов  $r$  и  $a$ .

**Выводы.** В результате проведенного анализа получены компоненты скоростей относительных деформаций почвы (грунта) на поверхности контакта с конусным кротователем. Эти выражения являются исходными для дальнейшего определения компонент напряжений в почве (грунте), которые позволяют определить уплотнение почвы (грунта) на стенках образованной кротовины и составляющие сил сопротивления перемещению кротователя.

## Литература

1. Аржаных, А.И. Исследование и обоснование параметров рабочих органов дисковых культиваторов для повышенных скоростей : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.410 – "Механизация сельского хозяйства" / А.И. Аржаных. – Челябинск, 1968. – 24 с.
2. Багиров, И.З. Исследование деформации и сопротивлений грунта с клином при различных скоростях : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук / И.З. Багиров. – Минск : Изд-во ВНИИ земледелия, 1963. – 24 с.
3. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1978. – 447 с.
4. Джонсон, У. Теория пластичности для инженеров : пер. с англ. / У. Джонсон, П. Меллор. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1979. – 568 с.
5. Ковбаса, В.П. Механіко-технологічне обґрунтування оптимізації взаємодії робочих органів з ґрунтом : дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.05.11 – "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / В.П. Ковбаса. – К. : Вид-во "Лібра", 2006. – 299 с.
6. Ковбаса, В.П. Про подолання труднощів при вирішенні контактних задач пружності / В.П. Ковбаса, В.П. Курка, Алі Ахмед Кадем // Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. – Луцьк : РВВ Луцького НТУ. – 2015. – Вип. 32. – С. 79-86.
7. Кострицын, А.К. Основные закономерности сопротивления почвы деформации и разрушению и их исследование для обоснования типа и параметров почвообрабатывающих противоэрозийных рабочих органов : дисс. ... д-ра техн. наук: спец. 05.20.01 – "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / А.К. Кострицын. – М., 1986. – 356 с.
8. Кулен, А. Современная земледельческая механика / А. Кулен, Х. Куиперс. – М. : Изд-во "Агропромиздат", 1986. – 349 с.
9. Кушнарев, А.С. Механико-технологические основы процесса воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий на почву : дисс. ... д-ра техн. наук: спец. 05.20.01 – "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / А.С. Кушнарев. – Мелитополь, 1980. – 329 с.
10. Лурье, А.И. Пространственные задачи теории упругости / А.И. Лурье. – М. : Изд-во "Гостехиздат", 1955. – 492 с.
11. Соколовский, В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. – М. : Изд-во физ.-мат. литературы, 1960. – 240 с.

Надійшла до редакції 27.12.2016 р.

### *Аль-Хазали Хайдер Раад Надім, Ковбаса В.П. Про взаємодію робочого органу з ґрунтом для утворення кротовини*

Наведено результати досліджень взаємодії конусного утворювача кротовин із ґрунтом з визначення компонент швидкостей деформаций ґрунту, який представлений у вигляді пружно-в'язкої моделі, на поверхні контакту цього робочого органу з ґрунтом. Ці вирази є вихідними для подальшого визначення компонент напружень у ґрунті, які дають змогу визначити ущільнення ґрунту на стінках утвореної кротовини та складники сил опору переміщенню утворювача кротовин.

**Ключові слова:** утворювач кротовин, ґрунт, конус, компоненти швидкостей, компоненти деформаций, контактна взаємодія.

### *Al-Hazaali Hayder Raad Nadim, Kovbasa V.P. On the Interaction of the Tool with the Soil for the Formation of the Molehill*

The research results of the interaction of the conical tool for the formation of molehill with the soil for determination the component of the strain rate of the soil on the contact surface of tool with soil are presented. The soil is represented by the elastic-viscous model. These expressions are the starting point for the further determination of the stresses component in the soil that determine the soil compaction on the walls of the formed molehill and components of forces of resistance to movement of conical tool for the formation of molehill.

**Keywords:** tool for the formation of molehill, cone, soil, component of the strain rate, the stresses components, contact interaction.