

6. Антипов С.Т., Кретов И.Т., Остриков А.Н. и др. Машины и аппараты пищевых производств: учеб. для вузов / под ред. акад. РАСХН В.А. Панфилова: в 2 кн. – М.: Высш. шк., 2001. – Кн. 2. – 680 с.

7. Пат. RU 2289930 Российская Федерация, МПК⁷ А23В 4/044. Устройство для копчения / Н.И. Капустин, А.В. Евтушенко. – Патентообладатель Н.И. Капустин. – Заявка № 2005113435/13; заявл. 03.05.2005; опубл. 27.12.2006, бюл. № 36.

8. Pat. No. US 6,203,834 B1 United States Patent, Int. Cl. A23B 4/044, U.S. Cl. 426/214. Process for smoking food items / Garu H. Anders. – Filed: Feb. 23, 2000; Date of Patent Mar.20, 2001.

9. Pat. No. US 6,523,463 B1 United States Patent, Int. Cl. A47I 37/00, f24B 3/00.U.S. Cl. 99/481. / Richard E. Hogle. – Filed: Nov.17,2000.; Date of Patent Feb. 25,20.

References

1. Kas'yanov G.N., Zolotokonova S.V. Tekhnologiya kopcheniya myasnykh i rybnnykh produktov. – Rostov na-Donu: Izdatel'skii tsentr «MarT», 2002. – 144 s.

2. Pat. RU 2410881 Rossiiskaya federatsiya, МПК7 А23В 4/00. Universal'naya koptil'nyia / V.N. Balashov, V.V. Kudryavtsev. Patentobladateli V.N. Balashov, V.V. Kudryavtsev. – Zayavka № 2009119454/1; Zayavl. 18.05.2009; Opubl.10.02.2011. Byul. №4.

3. Cardinal M. Effects of the smoking process on odour characteristics of smoked herring (*Clupea harengus*) and relationships with phenolic compound content / M. Cardinal, et al. // Food Chemistry. – Vol. 96. – No. 1. – 2006. – P. 137-146.

4. Mezenova O.Ya. Proizvodstvo kopchenykh pishchevykh produktov / O.Ya. Mezenova, I.N. Kim, S.A. Bredikhin. – М.: Kolos, 2001. – 207 s.

5. Ivashov V.I. Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatii myasnoi promyshlennosti. V 2 ch. Ch. II. Oborudovanie dlya pererabotki myasa. – SPb.: GIORD, 2007. – 464 s.

6. Antipov S.T., Kretov I.T., Ostrikov A.N. i dr. Mashiny i apparaty pishchevykh proizvodstv. V 2 kn. Kn. 2: ucheb. dlya vuzov; pod red. akad. RASKhN V.A. Panfilova. – М.: Vyssh. shk., 2001. – 680 s.

7. Pat. RU 2289930 Rossiiskaya Federatsiya, МПК7 А23В 4/044. Ustroistvo dlya kopcheniya / N.I. Kapustin, A.V. Evtushenko. Patentobladatel' N.I. Kapustin. – Zayavka № 2005113435/13; Zayavl. 03.05.2005; opubl. 27.12.2006. Byul. № 36.

8. Pat. No. US 6,203,834 B1 United States Patent, Int. Cl. A23B 4/044, U.S. Cl. 426/214. Process for smoking food items / Garu H. Anders. – Filed: Feb. 23, 2000; Date of Patent Mar.20, 2001.

9. Pat. No. US 6,523,463 B1 United States Patent, Int. Cl. A47I 37/00, f24B 3/00.U.S. Cl. 99/481. / Richard E. Hogle. – Filed: Nov.17, 2000; Date of Patent Feb. 25, 2001.



УДК 620.178

С.М. Слободян, А.Е. Романишин, С.А. Романишина
S.M. Slobodyan, A.Ye. Romanishin, S.A. Romanishina

СКОЛЬЖЕНИЕ ПОЧВЫ ПО РЕЖУЩЕМУ ОРГАНУ

SOIL SLIDING OVER CUTTING ELEMENT OF A TOOL

Ключевые слова: оценка, эффективность, сплошная среда, скользящий контакт, фракция, модель, динамика разрушения, виртуальный слой, рабочий орган.

Keywords: evaluation, efficiency, solid medium, sliding contact, fraction, model, dynamics of destruction, virtual layer.

Представлен оригинальный нетрадиционный подход к анализу скользящего контактного взаимодействия почвы, грунта, зернового и других материалов и фракционных сыпучих потоков вида плотно упакованной структуры типа виртуально сплошной среды, в том числе содержащих фракции режущего элемента. Освещены вопросы динамического взаимодействия контактной пары – почвы и режущего элемента – с учетом физических свойств материала режущего элемента и обрабатываемой среды или почвы, поведения их характеристик и особенностей силового механического и динамического взаимодействия. Для стационарного режима скользящего контакта создана аналитическая математически формализованная модель динамики фрактального разрушения тонкого контактного слоя скольжения контактной пары сред, превращающего этот слой в виртуальный слой динамически переменной во времени сплошной плотности. На основе подхода физической гидродинамики рассмотрено поведение свойств и особенностей образования в контактном пространстве тонкого слоя скольжения фракций износа режущего почву элемента и фракций почвы как изоморфной среды с изменяющейся во времени плотностью, из-за эмиссии в контактное пространство фракций деструкции поверхностей тел – режущего почву элемента и почвы. Для стационарного скольжения почвы по поверхности режущего элемента создана математическая модель динамики поведения гипотетически изоморфного тонкого контактного слоя тел скольжения. Анализ созданной модели такого динамического виртуально сплошного слоя выявил особенности гравитационного влияния на изменение свойств стационарного потока фракций деструкции режущего элемента и почвы (тел скольжения) в контактном пространстве от динамики движения, ориентации пространства и свойств среды этого контактного слоя. Для описания процесса и особенностей динамического взаимодействия элементов контактной пары сред получена система дифференциальных уравнений, достаточно простая в реализации. Кратко описаны конст-

рукция моделирующего устройства и результаты эксперимента – исследований влияния изменений усилий воздействия на режущий элемент рабочего органа в зависимости от особенностей почвы.

A non-traditional original approach to the analysis of sliding contact interaction of soil, ground, grain and other materials is presented. These materials are free-flowing fractions having close-packed structure like virtual solid medium including the fractions of the cutting element. The problems of the contact elements dynamics interaction given their characteristics are discussed. The contact elements are soil and cutting element of a farming equipment, and the interaction is considered in terms of the physical properties of the cutting element material and the features of the tilled soil. For steady state sliding contact the analytical mathematically formalized model of the fractions destruction of a thin layer of contact sliding medium is developed. It converts this layer into a virtual hydrodynamically variable layer. Based on physical hydrodynamics fundamentals, the formation features and characteristics of cutting element fractions and soil fractions in thin layer of contact sliding medium is examined. It was taken as isomorphic environment with varying density due to emissions of solid destruction fractions to the sliding interaction space. For steady state of soil sliding along the cutting element of farming equipment the mathematical model of dynamic isomorphic thin sliding contact layer was created. The analysis of created model of such dynamic isomorphic thin sliding contact layer revealed the gravitational influence to change of a stationary destruction fractions flow properties on the movement dynamics, space orientation and contact layer properties. To describe the process and dynamic interaction of the contact elements (soil and cutting element of farming equipment) the simplest system of differential equations is obtained. The framework simulator and results of experiment is presented. The experimental studies of the changes impact effect on cutting element efforts depending on soil characteristics are summarized.

Слободян Степан Михайлович, д.т.н., проф., каф. прикладной математики, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Тел.: 952-886-7224. E-mail: sms_46@ngs.ru.

Романишин Александр Ефимович, к.т.н., доцент Житомирский национальный агроэкологический университет, Украина. Тел.: +380-412223824. E-mail: tatjana.romanishina@yandex.ua.

Романишина Светлана Анатольевна, аспирант, Житомирский национальный агроэкологический университет, Украина. Тел.: +380-412223824. E-mail: sar62@yandex.ua.

Slobodyan Stepan Mikhaylovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Applied Mathematics, Natl. Research Tomsk Polytechnic University. Ph.: 952-886-7224. E-mail: sms_46@ngs.ru.

Romanishin Aleksandr Yefimovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Zhitomir National Agroecological University, Ukraine. Ph.: +380-412223824. E-mail: tatjana.romanishina@yandex.ua.

Romanishina Svetlana Anatolyevna, Post-Graduate Student, Zhitomir National Agroecological University, Ukraine. Ph.: +380-412223824. E-mail: sar62@yandex.ua.

Введение

Качество прогноза состояния изношенности, например, режущего элемента рабочего органа различных средств агротехники, которое для целей контроля и диагностики состояния и живучести машин и их элементов можно указать только на основе получения

данных об их состоянии в процессе динамического взаимодействия – скользящего контакта (СК) почвы как сплошной среды с поверхностью режущего почву элемента рабочего органа. Качество прогноза состояния режущего почву элемента зависит от точности и метода аналитической оценки парамет-

ров слоёв контактно взаимодействующих сред (почвы и режущего элемента) или математической модели при их метрологии [1-4]. Сложность оценки времени жизни СК пары элементов (почва и, например, лемех плуга) определена вероятностным характером процесса скольжения лемеха в случайно-неоднородной почве, из-за широкого спектра особенностей динамического взаимодействия прилегающих к друг другу слоёв сред СК и факторов часто взаимно противоположного направления влияния.

Цель и задачи. Трудности решения задачи прогноза состояния СК почвы и элемента агротехники состоят: во-первых, в метрологической недоступности; во-вторых, в отсутствии аналитического описания ряда процессов, протекающих в СК «почва-элемент»; в-третьих, в недостатке априорной информации для оценки экстремума функции контактного поведения материалов сред элементов СК при оптимизации диагностики состояния; в-четвертых, в стохастичности состава среды обрабатываемой почвы, а значит, и её влияния на режущий элемент. Известные методики прогноза не учитывают физику явления случайного взаимодействия сред элементов в пространстве тонкого контактного слоя [1-7]. Анализ степени и особенностей влияния формируемого при контактно взаимодействии тонкого слоя скольжения почвы по поверхности режущего элемента с учетом наличия окружающей их воздушной среды является актуальным. Рассмотрена модель такого стационарного взаимодействия смежных слоёв контактно взаимодействующих сред (почвы и режущего элемента) как процесса деструкции и переноса фракций обоих элементов контакта при наличии воздуха в пространстве контактного слоя.

Постановка решения

Используя общий подход к исследованию физических процессов в системах плотно упакованной дискретной структуры тел, за основу модели процесса деструкции тела движущегося по поверхности другого примем эйлеровский подход, основанный на аналогии модели динамики сплошной среды [8, 9]. При обилии работ по контактной деструкции тел практически отсутствуют исследования с анализом динамики и кинетики недоступного для прямого наблюдения в реальном

времени процесса формирования вероятностного контактного слоя взаимодействия почвы с режущим элементом средств агротехники [5-12]. Модель этого процесса нужна не только для оценки живучести режущего элемента рабочего органа как тела скольжения, что весьма актуально для прогноза их живучести, но и с точки зрения управления контактным взаимодействием, в том числе в задачах переработки потока зерновых (сыпучих тел) с направляющими поток элементами сельскохозяйственного оборудования и машин обработки урожая. Для оценки живучести рабочих элементов агротехники важно знание закономерностей контактного скольжения взаимодействия режущего почву или поток зерновых элемента рабочего органа, которые определяют особенности оптимального выбора параметров при проектировании этих рабочих органов.

Основные положения

Примем область скользкого взаимодействия режущего почву элемента в установленном режиме постоянной (рис. 1).

Тогда удельный объём $V_{нф}$ фракций деструкции контактного слоя плотно упакованной среды через $S_{нф}$ (поперечное сечение контактного слоя (канал движения потока фракций) в единицу времени равен произведению $v_{нф}$ – средней линейной скорости движения фракций слоя по каналу (в продольном направлении) на $S_{нф}$ – площадь поперечного сечения канала: $V_{нф} = S_{нф} v_{нф} t$. Если принять (x, y, z) – переменные в системе координат контактного пространства пары тел и Δt – интервал времени оценки скорости, то скорость движения потока фракций деструкции в контактно слое в условиях скользкого взаимодействия тел в системе координат переменных (x, y, z) определится проекциями вектора его скорости $v_{нф}(x, y, z, t)$, характер изменения которых имеет вид:

$$\begin{aligned} v_x(t) &= [x_i(t + \Delta t) - x_i(t)] / \Delta t ; \\ v_y(t) &= [y_i(t + \Delta t) - y_i(t)] / \Delta t ; \\ v_z(t) &= [z_i(t + \Delta t) - z_i(t)] / \Delta t . \end{aligned}$$

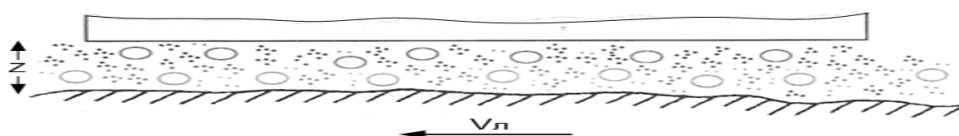


Рис. 1. Образование слоя скольжения:
z – высота слоя; v_n – линейная скорость движения поверхности тела вращения

Процесс деструкции тел скольжения длителен. Время полной деструкции тела скольжения пропорционально отношению объёма тела к интенсивности потока и геометрическим размерам фракций деструкции тела, находящегося в скользящем взаимодействии:

$$t_{pm} = V_{n\phi} / \bar{n}_{\phi p} \bar{V}_{\phi p}.$$

Среднее число $\bar{n}_{\phi p}$ и $V_{\phi p}$ – размер отдельных фракций деструкции тел скольжения – коррелированные величины. В общем случае: $\bar{V}_{\phi p} = \iiint_{(x,y,z)} V_{\phi p} dx dy dz = \iiint_{(V)} V_{\phi p} dV$. Отсюда

среднее число фракций деструкции при скольжении: $\bar{n}_{\phi p} = V_{n\phi} / \bar{V}_{\phi p}$. Интенсивность (масса) потока фракций деструкции через поперечное сечение области контакта тел в единицах массы равна произведению объёмного размера деструкции на плотность материала тел скольжения:

$$m_{n\phi}(t) = \rho_{mc} S_{n\phi} v_{n\phi} t = \sum_{u=1}^k \bar{V}_{\phi p} v_{n\phi} \rho_{\phi p}.$$

Примем плотность фракций слоя скольжения тождественной плотности почвы $\rho_{mc} \equiv \rho_{\phi p}$. В общем случае это может не выполняться, например, в случае более упругого тела скольжения. Заметим, что в ньютоновской механике масса аддитивна, т.е. масса любой системы тел равна сумме масс

$m = \sum_{i=1}^k m_i$, или масса фракции тела равна

$m_i = \int_0^{V_i} \rho dV$, где интегрирование идет по всему объёму фракции или тела. Учтём, что средняя плотность потока фракций деструкции неоднородной почвы в слое скольжения определяется отношением массы тела к его объёму: $\rho_{cp} = m / V$.

В случае неравновесной потоке фракций деструкции неоднородной почвы скольжения $v_{\phi p}$, $\bar{V}_{\phi p}$, $\rho_{\phi p}$ не постоянны, т.е. они – функции времени и координат. Учитывая задачу исследования – создание модели стационарного потока фракций разрушения, примем $v_{\phi p}$, $\bar{V}_{\phi p}$, $\rho_{\phi p}$ средними центрированными значениями ($\langle \dots \rangle$, $\langle \dots \rangle$, $\langle \dots \rangle$) процесса деструкции. Условие стационарности случайного потока фракций слоя скольжения предполагает постоянство средних характеристик потока в сечениях слоя, или установившееся состояние ведёт к постоянству уравнения неразрывности потока фракций:

$$m_{n\phi}(t) = \rho_{mc} S_{n\phi} v_{n\phi} t = \sum_{u=1}^k \bar{V}_{\phi p} v_{n\phi} \rho_{\phi p} = const.$$

Это уравнение применимо для любого стационарного режима потока фракций слоя, не имеющего притока или отбора фракций на пути их движения в контактном слое скольжения. При деструкции однородного тела или его контактного слоя на изоморфный поток фракций однородной дисперсности уравнение неразрывности упрощается $m_{\phi p} = \rho_{\phi p} V_{\phi p} v_{\phi p} = const$ и сводится к условию постоянства объёмной плотности и массы потока изоморфных фракций деструкции в любом сечении слоя.

В движении почвы по траектории скольжения часть потока фракций её поверхностного слоя на интервале прохождения контактной области последовательно выпадает из контактного пространства. Поэтому оценку динамики потока фракций слоя скольжения проведём составлением уравнения баланса потока. При равномерной плотности и динамике вылета фракций из контактного слоя уравнение баланса потока фракций для мас-

сового расхода $m = \sum_{i=1}^k m_i$ примет вид:

$$m = m_0 - m_{y\phi p} z,$$

где m_0 – объёмная массовая эмиссия фракций с поверхности почвы скольжения в контактный слой (в начальном сечении потока);

$m_{y\phi p}$ – удельный отток части фракций слоя на интервале i -го сечения потока (в единицах массы фракций потока в единицу времени на единицу размера слоя);

z – расстояние от поверхности почвы скольжения – начала потока фракций деструкции до текущего сечения контактного слоя. Аналогично уравнение баланса стационарного потока фракций слоя скольжения:

$$m_{\phi p} = m_0 - m_{y\phi p} z,$$

где $m_{y\phi p}$ – удельный объёмный отток фракций в единицу времени на единицу размера контактного пространства (плотность интенсивности потока фракций в слое скольжения), точнее, объёма его слоя.

При циклической траектории, когда на пути скольжения при адгезии к поверхности режущего элемента фракций могут находиться фракции от предыдущего цикла разрушения, назовём этот поток фракций транзитным, уравнение непрерывности примет вид:

$$m = m_{тек} + m_{mp} - m_{y\phi p} z = m_{mp} + m_{y\phi p} (h - z),$$

где h – размер слоя в ортогональном к плоскости скольжения направлении.

Для полного учёта особенностей динамики слоя скольжения в математической модели, кроме уравнения неразрывности потока, полезно иметь уравнение баланса энергии по-

тока фракций распада. Процесс образования контактного слоя равносильно выполнению работы отрыва фракции, перемещению её в контактное пространство и за его пределы.

Потенциальная работа – это работа по перемещению фракции из одной в другую область координат, т.е. из поверхностного слоя через контактное пространство за его пределы. Другими словами, изменение энергии фракции, осуществлённое путем передачи фракции движения – это и есть работа, совершённая над фракциями слоя скольжения. Передача энергии происходит в форме процесса силового скользящего взаимодействия поверхностей тел. При поступательном движении (поток фракций слоя считаем поступательным) с одинаковыми векторами скорости фракций элементарная работа δA движения

dz составит $\delta A = \sum_{i=1}^k F_i dz = \vec{F} d\vec{z}$. В стационарном движении сила, действующая на отдельную фракцию и поток фракций

$\vec{F} = const$ и $A = Fz$. Сила, действующая на поток, потенциальная, так как производимая ею работа по перемещению потока фракций зависит только от начального и конечного положений фракций в контактном пространстве. Мерой движения потока фракций слоя служит кинетическая энергия, измеряемая той работой, которую может совершить поток фракций при его торможении до полной остановки, и вычисляемая по известной формуле: $w_k = mv^2 / 2$. Если учесть, что это поток отдельных фракций, то формула примет вид:

$$w_{кнф} = 0,5 \int_{(v)} \rho^2 dV = 0,5 \int_{(m)} v^2 dm,$$

где dm – масса отдельной i -той фракции; dV , ρ и v – объём, плотность и модуль вектора скорости фракций в потоке; m и V – масса и объём полного потока фракций.

При поступательном потоке его энергия равна $w_{кнф} = mv^2 / 2$. Потенциальная энергия фракций $dw_{нф}$ подобно силовой функции U характеризует потенциальное поле их потока и связана с ней равенством $dw_{нф} = -dU$ или $w_{нф} = -U + C$, где C – постоянная интегрирования.

Учтя действие основных факторов в условиях движения потока фракций, для элементарной работы получим следующее уравнение:

$$\delta w = \delta A_1 + d(v^2 / 2) + g dz + \delta A_2,$$

где δA_1 – удельная эффективная работа, передаваемая телам внешней системы (в тонком контактном слое $\delta A_1 \approx 0$). Второе слагаемое связано с изменением кинетической энергии; третье – с потенциальной ($g = 9,807 м / с^2$ – ускорение свободного падения фракций в потоке). Четвёртое – необратимые превращения работы: $A_2 = [R_v (0,5v^2) / \ell_s] dz$, где $\ell_s = 2\sqrt{xy} / \pi$ – эффективный размер сечения потока фракций слоя находится из тождества прямоугольного и круглого сечений $\pi D^2 / 4 = xy$; R_v – сопротивление среды контактного слоя движению фракций деструкции; x и y – размеры тела скольжения в плоскости образования потока фракций деструкции (для круглого $\ell_s = D$ – его диаметру); z – текущая координата сечения потока, отсчитываемая с начала его формирования (от плоскости отрыва фракций).

Из выражения для δw следует, что работа и кинетическая энергия потока частиц деструкции тела скольжения диссипируют на преодоление трения о среду их пролета – гидравлическое сопротивление слоя, на движение – изменение своего положения в потоке и на изменение скорости потока частиц. Таким образом, уравнение баланса энергии элементарной фракции деструкции слоя скольжения может быть представлено в виде:

$$-\delta w = \alpha_T d(v^2 / 2) + g dz + R_v (v^2 / 2 \ell_s) dz = \alpha_T d(v^2 / 2) + [g + R_v (v^2 / 2 \ell_s)] dz.$$

В левой части уравнения стоит выражение удельной потенциальной работы потока фракций при его движении в контактном слое; знак минус отражает не приращение, а процесс диссипации энергии. Это уравнение динамики движения потока фракций деструкции слоя скольжения.

Уравнение удельной энергии приводится к простому виду для потока: $\rho^{-1} dw + \alpha_T d(v^2 / 2) + [g + R_v (v^2 / 2 \ell_s)] dz = 0$.

Для ламинарного потока фракций – $\alpha_T = 2$, для турбулентного режима – $\alpha_T = 1,1$. Первое слагаемое в уравнении – удельная работа движения частиц потока; второе – работа на изменение скорости фракций, т.е. их кинетической энергии; третье – удельная работа на преодоление сопротивления среды слоя движению потока фракций. Последнее и второе слагаемые – аутентичны. Это дифференциальное уравнение баланса энергии потока частиц стационарного контактного слоя скольжения. Для горизонтального потока

фракций $g = 0$ уравнение баланса: $\rho^{-1}dw + \alpha_T d(v^2/2) + R_v(v^2/2\ell_s) dz = 0$. При $v \equiv const$ оно принимает простой вид: $\rho^{-1}dw + R_v(v^2/2\ell_s) dz = 0$.

Уравнения движения потока фракций в слое свведём в систему:

уравнение динамики движения: $\rho^{-1}dw + \alpha_T d(v^2/2) + [g + R_v(v^2/2\ell_s)] dz = 0$;

уравнение баланса массы потока фракций – уравнение его неразрывности

$$m_{\phi p} = \rho_{\phi p} V_{\phi p} v_{\phi p} = const$$

и состояния, если считать поток (двухфазная система – фракции + среда) как газ, то можно принять за основу уравнение Клапейрона: $p = \rho_p R_p T$.

Решение системы уравнений сводит её к одному – обыкновенному дифференциальному уравнению с разделяющимися переменными:

$$-\rho_p R_p T v^{-2} d(v^2) + \alpha_T d(v^2) + [2g + R_v v^2 / \ell_s] dz = 0$$

Стационарное движение потока фракций в контактном пространстве рассмотрим в изотермических условиях, то есть при постоянной температуре почвы. Отклонение ориентации контактного пространства от горизонтали учтём введением зависимости гравитационной составляющей движения фракций от α_{\perp} – угла отклонения пространства от горизонтали:

$$-\rho_p R_p T v^{-2} d(v^2) + \alpha_T d(v^2) + [2g \cos \alpha_{\perp} + R_v v^2 / \ell_s] dz = 0$$

При горизонтальном слое $\alpha_{\perp} = 0$ и $\cos \alpha_{\perp} = 1$. При вертикальном слое $\alpha_{\perp} = 90^\circ$, а $\cos \alpha_{\perp} = 0$. Сила тяжести направляет поток фракций вдоль слоя. Поток фракций – падающий вниз и компонента $2gdz \equiv 0$.

Для горизонтальной геометрии контактного пространства уравнение стационарного движения потока фракций слоя приводится с учётом силы $p = \rho_p R_p T$ – давления тела скольжения к частному виду

$$-\rho_p R_p T v^{-2} d(v^2) + \alpha_T d(v^2) + [2g + R_v v^2 / \ell_s] dz = 0$$

Приводя подобные слагаемые, получим следующее уравнение:

$$-\frac{\rho_p R_p T d(v^2)}{v^2 [2g \cos \alpha_{\perp} + R_v v^2 / \ell_s]} + \frac{\alpha_T d(v^2)}{[2g \cos \alpha_{\perp} + R_v v^2 / \ell_s]} + dz = 0$$

Результат интегрирования уравнения в диапазоне изменения скорости потока фракций с учётом, что в момент деструкции поверхности ($z = 0$) фракция приобретает скорость v_0 , а в области второй стенки зазора $z = \ell_z$ (поверхность скольжения) – v_{ℓ} имеет вид:

$$\ln \left[\left(\frac{2g \cos \alpha_{\perp} + R_v}{v_{\ell}^2 \ell_z} \right) / \left(\frac{2g \cos \alpha_{\perp} + R_v}{v_0^2 \ell_z} \right) \right] = - \frac{2g \cos \alpha_{\perp}}{\eta_p R_p T} \left(1 + \frac{\alpha_T \ell_s}{R_v \ell_z} \ln \frac{2\ell_s g \cos \alpha_{\perp} + R_v \ell_z v_{\ell}^2}{2\ell_s g \cos \alpha_{\perp} + R_v \ell_z v_0^2} \right)$$

Обозначим: $a = (2g \cos \alpha_{\perp}) / \eta_p R_p T$ – коэффициент, зависящий от ориентации контактного слоя и

$$b = 1 + \frac{\alpha_T \ell_s}{R_v \ell_z} \ln \frac{2\ell_s g \cos \alpha_{\perp} + R_v \ell_z v_{\ell}^2}{2\ell_s g \cos \alpha_{\perp} + R_v \ell_z v_0^2}$$

– коэффициент, отражающий динамику изменения скорости фракций, физические свойства среды слоя и его ориентацию. При горизонтальном скольжении $\alpha_{\perp} \equiv 0$ превалирует гравитация и

$$b = 1 + \frac{\alpha_T \ell_s}{R_v \ell_z} \ln \frac{v_{\ell}^2}{v_0^2} = 1 + 2 \frac{\alpha_T \ell_s}{R_v \ell_z} \ln \frac{v_{\ell}}{v_0}$$

Для $v_{\ell} \equiv v_0$, т.е. при постоянной скорости фракции с момента её отрыва до её выхода из контактного слоя, $b = 1$ независимо от вида и температуры среды.

Функциональное изменение параметров a и b представлено на рисунке 2.

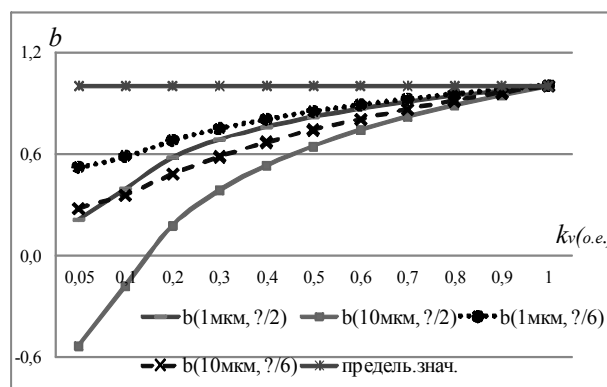
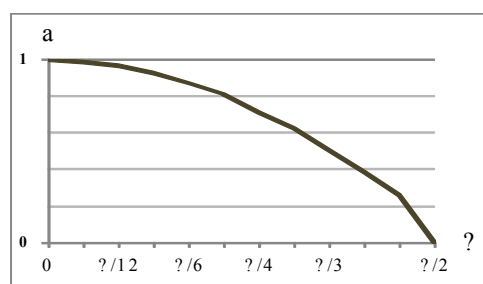


Рис. 2. Закономерности поведения параметров a и b уравнения движения фракций

Результаты и их обсуждение

Для оценки достоверности полученной динамической модели слоя скольжения почвы можно использовать теорию подобия [13, 14]. По её методикам были проведены тестовые проверки размерностей и алгоритма вычислений на задачах физических и моделях, идентичных рассмотренной. Анализ [13, 14] мерой подобия законов скольжения фракций как виртуального слоя с переменной во времени плотностью по аналогии с показывает, что движение слоя фракций деструкции почвы по изложенной модели, известным подходам и методикам оценки течения сред высокоаутентично [8-14]. Например, при движении вязкой несжимаемой жидкости поперечная скорость фракций v_z виртуально сплошного слоя скольжения переменной во времени плотности убывает с ростом координаты [13]. Подтверждением адекватности служит также характер температурных полей и динамики движения слоя фракций деструкции, как у жидкостей, в узком слое они связаны с изменением параметра течения сред – числа Рейнольдса. Методикой теории подобия выполнен численный анализ параметров модели слоя скольжения почвы в первом приближении оценки уравнений модели, т.е. мерой влияния параметров третьего порядка малости [13, 14]. Порядок параметров при оценке [13]: $R_v \sim 10^{-1}$; $R_p \sim 10^4$; $\rho \sim 10^3$; $T \sim 10^2$; $\eta_p \sim 0,2 \dots 1$; $x \sim 10^{-2}$; $y \sim 10^{-2}$; $l_3 \sim 10^{-2}$; $l_2 \sim 10^{-6}$; $v \sim 10^{-10}$. Практическая апробация влияния земной гравитации на деструкцию режущего элемента проведена на специальном экспериментальном стенде ООО «СибургеоНефтеГаз». В пределах точности измерений натурный эксперимент подтвердил действие теоретически установленной закономерности влияния гравитации на живучесть контактной пары в зависимости от ориентации вектора движения слоя.

Заключение

Установлено, что ввиду большого числа трудных для прогноза факторов влияния на физико-механическое взаимодействие с почвой режущего элемента рабочего органа до сих пор не существует универсальных методов точной количественной оценки его состояния. Создана математическая модель процесса образования изоморфного слоя скольжения почвы по контактной поверхности режущего элемента при их контактном силовом механическом взаимодействии. Дано описание среднестатистических параметров случайного слоя фракций деструкции элементов контактной пары в стационарном скользящем взаимодействии в системе координат слоя. Выявлена зависимость свойств потока фракций слоя от динамики скольжения, ориентации и свойств почвы-среды мно-

гомерного контактного слоя. Найдено, что для горизонтального слоя превалирует гравитация; вертикальная ориентация слоя приводит к гравитационному ускорению при совпадении с вектором движения слоя и к замедлению – при противофазных векторах движения и гравитации ввиду действия 1-го и 2-го законов Ньютона. Выявленный фактор при эксплуатации ведёт к различной живучести тел скольжения в зависимости от их расположения (справа или слева) от оси второго тела вращения.

Библиографический список

1. Шорина И.В. Влияние агрофизических свойств почвы на урожайность однолетних трав в условиях Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 12. – С. 39-42.
2. Ефремова Е.Н. Влияние глубины и способа обработки почвы на содержание основных биофильных элементов в растительных осадках // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4. – С. 28-33.
3. Леканов С.В., Стрикунов Н.И., Черкашин С.А. К вопросу классификации способов предварительной подготовки зернового материала центробежно-решетных сепараторов с вертикальной осью вращения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4. – С. 142-147.
4. Чарыков В.И., Митюнин А.А., Евдокимов А.А. Механизмы разделения сыпучих продуктов сельскохозяйственного назначения на магнитную и немагнитную фракцию в сепараторе с наклонной рабочей зоной // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 11. – С. 94-98.
5. Троценко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – Киев: Наукова думка, 1981. – 344 с.
6. Suh N.P. The delamination theory of wear // Wear. 1973. – Vol. 25 (1). – P. 111-124.
7. Cerri E., Leo P. Mechanical properties evolution during post-welding-heat treatments of double-lap friction stir welded joints // Materials and Design. 2011. – Vol. 32 (6). – pp. 3465-3475.
8. Деева В.С. Траекторное рассеяние фракций скользящего контакта // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2(22). – Ч. 1. – С. 249-254.
9. Деева В.С., Слободян С.М. Динамика изоморфного разрушения скользящего тока съёма // Энергетик. – 2011. – № 9. – С. 36-38.
10. Слободян М.С., Слободян С.М. Модель динамики электрического контакта //

Приборы и системы: Управление, контроль, диагностика. – 2010. – № 2. – С. 42-47.

11. Слободян М.С., Слободян С.М. Марковские модели живучести контактной пары // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – Т. 78. – № 3. – С. 74-78.

12. Слободян М.С., Слободян С.М. Деструкция тел скользящего контакта // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 2. – С. 20-25.

13. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – М.: Недра, 1982. – 224 с.

14. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. – М.: Высшая школа, 1973. – 296 с.

References

1. Shorina I.V. Vliyanie agrofizicheskikh svoystv pochvy na urozhainost' odnoletnikh trav v usloviyakh Priob'ya // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 12. – S. 39-42.

2. Efremova E.N. Vliyanie glubiny i sposoba obrabotki pochvy na sodержание osnovnykh biofil'nykh elementov v rastitel'nykh osadkakh // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 4. – S. 28-33.

3. Lekanov S.V., Strikunov N.I., Cherkashin S.A. K voprosu klassifikatsii sposobov predvaritel'noi podgotovki zernovogo materiala tsentrobezhno-reshetnykh separatorov s vertikal'noi os'yu vrashcheniya // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 4. – S. 142-147.

4. Charykov V.I., Mityunin A.A., Evdokimov A.A. Mekhanizmy razdeleniya sypuchikh produktov sel'skokhozyaistvennogo naznache-

niya na magnitnuyu i nemagnitnuyu fraktsiyu v separatore s naklonnoi rabochei zonoj // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 11. – S. 94-98.

5. Troshchenko V.T. Deformirovanie i razrushenie metallov pri mnogotsiklovom nagruzhenii. – Kiev: Naukova dumka, 1981. – 344 s.

6. Suh N.P. The delamination theory of wear // Wear. – 1973. – Vol. 25 (1). – P. 111-124.

7. Cerri E., Leo P. Mechanical properties evolution during post-welding-heat treatments of double-lap friction stir welded joints // Materials and Design. – 2011. – Vol. 32 (6). – rr. 3465-3475.

8. Deeva V.S. Traektornoe rasseyanie fraktsii skol'zyashchego kontakta // Doklady TUSURa. – 2010. – № 2 (22). – Ch.1. – S. 249-254.

9. Deeva V.S., Slobodyan S.M. Dinamika izomornogo razrusheniya skol'zyashchego tokos'ema // Energetik. – 2011. – № 9. – S. 36-38.

10. Slobodyan M.S., Slobodyan S.M. Model' dinamiki elektricheskogo kontakta // Pribory i sistemy: Upravlenie, kontrol', diagnostika. – 2010. – № 2. – S. 42-47.

11. Slobodyan M.S., Slobodyan S.M. Markovskie modeli zhivuchesti kontaktnoi pary // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. – 2012. – Т. 78. – № 3. – S. 74-78.

12. Slobodyan M.S., Slobodyan S.M. Destruktsiya tel skol'zyashchego kontakta // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. – 2011. – Т. 318. – № 2. – S. 20-25.

13. Al'tshul' A.D. Gidravlicheskie soprotivleniya. – М.: Nedra, 1982. – 224 s.

14. Gukhman A.A. Vvedenie v teoriyu podobiya. – М.: Vysshaya shkola, 1973. – 296 s.

