

– S. 93-96.

5. Kondrat'eva, N. P. *Vozmozhnost' ispol'zovaniya svetodiodnyh RGB-tekhnologij v teplichnyh kompleksah* / N. P. Kondrat'eva, R. A. Valeev // *Agrarnaya nauka - innovacionnomu razvitiyu APK v sovremennyh usloviyah : materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Izhevsk, 12–15 fevralya 2013 goda* / FGBOU VPO Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya. Tom 2. – Izhevsk : Izhevskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2013. – S. 44-46.

6. Kungs, YA. A. *Perspektivy vnedreniya svetodiodnogo osveshcheniya v teplicah* / YA. A. Kungs, I. A. Ugreninov // *Vestnik KrasGAU*. – 2015. – №3. – S. 53-55.

7. Kur'yanova, I. V. *Ocena vliyaniya razlichnyh spektrov svetodiodnogo svetil'nika na rost i razvitie ovoshchnyh kul'tur* / I. V. Kur'yanova, S. I. Olonina // *Vestnik NGIEI*. – 2017. – № 7 (74). – S. 35–44.

8. Rakut'ko, E. N. *Metodika rascheta parametrov radiacionnoj sredy ot svetodiodnogo fitoobluchatelya* / E. N. Rakut'ko, S. A. Rakut'ko, A. N. Vas'kin // *AgroEkoInzheneriya*. – 2019. – №1 (98). – S. 71-82.

9. *Effekt ot primeneniya svetodiodnyh teplichnyh obluchatelej pri vyrashchivanii kul'tury ogurca v promyshlennyh teplicah* / S. I. Olonina, D. A. Filatov, V. G. Kislyakov, I. YU. Olonin // *Vestnik NGIEI*. – 2020. – №9 (112). – S. 31-40.

10. Eshdaun, YA. *Svetodiodnoe osveshchenie dlya rastenievodstva* / YA. Eshdaun, V. Rentyuk // *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*. – 2015. – Т. 4, № 36. – S. 24-29.

11. *Study of the pulsation coefficient and its influence on the design solutions of promising lighting systems for greenhouses* / N. P. Kondratieva, D. A. Filatov, P. V. Terentiev [et al.] // *Perspektivy razvitiya agrarnykh nauk: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, CHEboksary, 01–02 iyunya 2019 goda*. – CHEboksary: CHuvashskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2019. – P. 84-86.

#### **Information about authors**

**1. Belov Evgeniy Leonidovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29, Chuvash Republic, Russia; e-mail: belovevg2008@yandex.ru;

**2. Belov Valery Vasilievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29, Chuvash Republic, Russia; e-mail: belovdtn@gmail.com;

**3. Larkin Sergey Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production, Chuvash State Agrarian University, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, st. K. Marx, 29, Chuvash Republic, Russia; e-mail: sv\_larkin@mail.ru.

УДК631.31

DOI:

### **ПРОГНОЗ АДАПТИРУЕМОСТИ ПРУЖИННОГО КРОВОТАТЕЛЯ**

**Ю. Ф. Казаков**

*Чувашский государственный аграрный университет  
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** *Предложено применять растянутый во времени процесс вступления в работу рабочих органов при проведении щелевания с кротованием. При этом создаются условия для повышения коэффициента нагрузки двигателя трактора, с которым агрегируется орудие. Кротователь выполнен в виде конической пружины сложной формы, тяга которого подпружинена. При изменении продольной твердости почвы он вытягивается, диаметры витков уменьшаются, и, как следствие, снижается тяговое сопротивление рабочего органа. После прохождения переуплотненной полосы параметры кротователя восстанавливаются. За счет его продольных и поперечных деформаций возможно отклонение механизма в область пласта, в котором меньше прочности внутрипочвенных связей. Целью исследований является анализ условий, при которых возможна непрерывная адаптация рабочего органа, автоколебательные движения центра масс кротователя. Методом анализа нестационарных процессов, на которые влияют несколько постоянно изменяющихся факторов, получено дифференциальное уравнение движения кротователя. Разработана функциональная схема данного механизма. Входными факторами приняты изменение продольной твердости почвы, жесткости витков, диаметра. Получены передаточные функции влияния конструктивных и технологических факторов на изменение скорости движения кротователя. Для расширения возможностей адаптации предложено использовать регуляторы жесткости, дополнительные рыхлительные элементы на ноже-щелерезе для формирования сети трещин в пахотном слое. На полях с характерной изменчивостью продольной твердости почв комплектование орудия сменными типоразмерами кротователей различной жесткости будет способствовать успешной эксплуатации такого орудия.*

**Ключевые слова:** кротователь пружинный, функциональная схема, уравнение движения; адаптируемость кротователя, сменные типоразмеры рабочего органа.

**Введение.** Разгон машинно-тракторных агрегатов для вспашки, подпокровного рыхления, нарезания щелей и кротовин, характеризующихся высоким тяговым сопротивлением, осуществляется на рабочей передаче, и, как правило, в заглубленном положении рабочих органов. Этот процесс сопровождается выходом двигателя на перегрузочный режим, перерасходом топлива. Значительная изменчивость продольной твердости пахотного слоя даже в границах одного участка требует определенного запаса крутящего момента двигателя, что приводит к занижению коэффициента нагрузки энергетического агрегата [8], [10]. Применение рабочих органов – движителей, орудий с изменяющейся шириной захвата, совершенствование движителей, регулирование давления в шинах, использование съемных почвозацепов на движителях способствуют снижению буксования энергонасыщенных тракторов [1], [9], [14]. Применение балласта, масса которого соизмерима массой самого трактора, наряду со снижением ряда перечисленных недостатков, приводит к переуплотнению почвы, включая подпахотные горизонты [15]. Применение глубокорыхлителей, щелевателей – кротователей направлено на устранение плужной подошвы, разуплотнение, восстановление влагопереноса [6], [12]. Для этих целей разработаны и испытаны подпокровные рыхлители со самовращающимися кротователями [6], орудиями с автоматическим изменением угла конусности и зоны действия [7]. Так как взаимодействие кротователя с пластом часто происходит на глубине, превышающей критическую, в условиях заблокированного и полублокированного резания, такие рабочие органы характеризуются высоким тяговым сопротивлением.

Отличительной особенностью рабочего органа щелевателя с пружинным кротователем, предложенного в Чувашском государственном аграрном университете, является способность непрерывно реагировать на изменение продольной твердости почвы и скоростного режима [3]. Это проявляется в изменении диаметра витков, углов их наклона и атаки, в отклонении вправо-влево, вверх-вниз от направления движения точки тяги [13]. Таким образом, кротователю удастся «обходить» переуплотненные полосы обрабатываемого пахотного слоя. Как следствие, достигается определенная стабильность его тягового сопротивления во время работы. Конструкция рабочего органа, стимулирующая саморегулированию его формы в процессе взаимодействия с обрабатываемой средой [11], способ крепления к ножу-щелерезу через упругий элемент, позволяют снизить перегрузку двигателя трактора в период разгона агрегата за счет растянутого во времени вступления в работу витков конического кротователя [4].

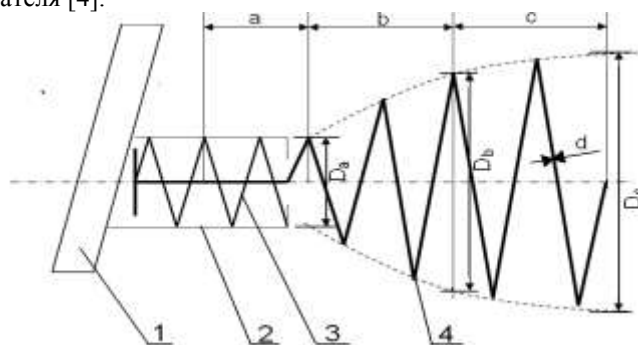


Рис. 1. Схема рыхлителя с пружинным кротователем: 1 – черенковый нож, 2 – дрена (тяговая опора), 3 – упругий элемент тяговой опоры, 4 – пружинный кротователь

Целью исследований является анализ переходных процессов при взаимодействии пружинного кротователя на подпружиненной тяге с пахотным слоем, характеризующимся перепадами продольной твердости.

**Материалы и методы.** Для оценки стабильности процесса самоприспособления кротователя к изменяющимся эксплуатационным условиям воспользуемся методикой анализа нестационарных процессов, на которые влияют несколько постоянно изменяющихся факторов [5]. Для построения переходных процессов при взаимодействии кротователя с почвой использован принцип суперпозиции.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Выразим передаточные функции элемента, характеризующие воздействие на него входных координат, через их изменения по отношению к величинам при установившемся движении:

$$\begin{aligned} \text{средней скорости} & \quad \frac{\Delta v}{v_0} = \varphi, \\ \text{средней жесткости витков} & \quad \frac{\Delta c}{c_0} = \chi; \\ \text{диаметра} & \quad \frac{\Delta D}{D_0} = \rho. \end{aligned}$$

продольной твердости пахотного слоя  $\frac{\Delta\mu}{\mu_0} = \alpha$ .

В результате анализа движения кротователя на предыдущих этапах исследований получено дифференциальное уравнение [3]:

$$\varphi = Y^{\kappa}(p)\kappa + Y^{\mu}(p)\mu + Y^{\alpha}(p)\alpha \quad (1)$$

В этом уравнении представлены передаточные функции по входным координатам:

«жесткость»

$$Y^{\kappa}(p) = \frac{1}{d(p)} = \frac{1}{T_p + k};$$

«диаметр прутка»

$$Y^{\mu}(p) = \frac{\Theta_D}{d(p)} = \frac{\Theta_D}{T_p + k}$$

«продольная твердость пахотного слоя»

$$Y^{\alpha}(p) = -\frac{\Theta_{\mu}}{d(p)} = -\frac{\Theta_{\mu}}{T_p + k}.$$

Запись дифференциального уравнения (1) через передаточные функции дала возможность построить структурную схему кротователя, отражающую его динамические свойства (рис.2).

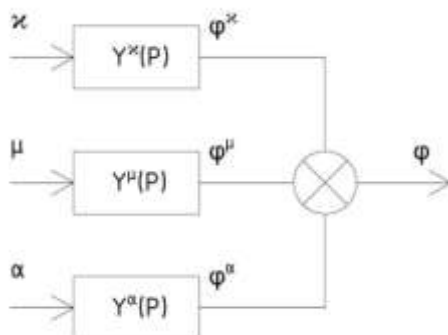


Рис. 2. Функциональная схема кротователя

При этом суммируются выходные координаты

$$\varphi^{\kappa} = Y^{\kappa}(p)\kappa$$

$$\varphi^{\mu} = Y^{\mu}(p)\mu$$

$$\text{и } \varphi^{\alpha} = -Y^{\alpha}(p)\alpha$$

Разделим уравнение (1) на передаточную функцию при жесткости витков кротователя  $\kappa$ . Это обусловлено тем, что жесткость упругой системы рассматривается нами основным фактором, способствующим непрерывной адаптации рабочего органа, пределы изменения жесткости требуют всестороннего обоснования при разработке рабочего органа.

В результате получим дифференциальное уравнение в операторной форме записи [3]:

$$(T_p + k)\varphi = \kappa + \Theta_D\rho - \Theta_{\mu}\alpha. \quad (2)$$

В уравнении (2) двучлен в скобках является собственным оператором

$$d(p) = T_p + k. \quad (3)$$

В уравнениях (2) и (3)  $T_p$  - коэффициент, представляющий операцию дифференцирования по времени при операторной форме записи дифференциальных уравнений ( $p=d/dt$ ),  $k$  - безразмерный коэффициент самовыравнивания;  $\Theta_D$  - безразмерный коэффициент возмущения, обусловленного изменением диаметра;  $\Theta_{\mu}$  - безразмерный коэффициент возмущения, обусловленного изменением продольной твердости почвы.

С учетом выражения (3), представим уравнение (2) в виде

$$d(p)\varphi = \kappa + \Theta_D\rho - \Theta_{\mu}\alpha. \quad (4)$$

Для построения переходных процессов при взаимодействии кротователя с почвой воспользуемся принципом суперпозиции. Переходный процесс  $\varphi = f(t)$ , возникающий при сложном возмущении  $\kappa + \Theta_D\rho - \Theta_{\mu}\alpha$ , представим в виде алгебраической суммы двух переходных процессов, появляющихся вследствие раздельного воздействия на рабочий орган управляющего сигнала  $\kappa + \Theta_D\rho$  и возмущения  $-\Theta_{\mu}\alpha$ , определяемого изменением нагрузки. Полученные таким образом переходные процессы  $\varphi_{\eta} = f(t)$  и  $\varphi_{\alpha} = f(t)$  представим в виде суммы  $\varphi(t) = \varphi_{\eta}(t) + \varphi_{\alpha}(t)$ .

Для оценки динамических свойств кротователя при взаимодействии с пахотным слоем достаточно решить одно из вспомогательных уравнений [5]. При ступенчатом возмущении  $\eta = \eta_B = \text{const}$  получим дифференциальное уравнение в виде:

$$T_d (d\varphi/dt) + k_d \varphi = \eta_B. \quad (5)$$

Это уравнение неоднородное, его интеграл отыскивается в виде суммы общего интеграла  $\varphi_{од}$  однородного уравнения, т.е., когда правая часть дифференциального уравнения (5) равна нулю, и частного интеграла  $\varphi_{н}$  уравнения (5), т.е.

$$\varphi(t) = \varphi_{од}(t) + \varphi_{н}(t). \quad (6)$$

В уравнении (5) в качестве возмущения  $\eta_B$  рассматриваем характерный перепад продольной твердости почвы на обрабатываемом поле. Он берется из базы твердограмм, его нужно принять как параметр подбора жесткости кротователя, упругой характеристики рабочего органа в виде конической пружины сложной формы, как критерий обоснованности подбора данного типоразмера кротователя для установки на орудие.

Коэффициент самовыравнивания  $k_d$ , представленный в уравнении (5), отражает ожидаемую возможность системы автоматически вернуться в состояние до возмущения. Допустим, упругая характеристика кротователя такая, что растяжение кротователя и вызванное растяжением снижение диаметра витков не приводят к существенному изменению его тягового сопротивления даже при предельном перепаде продольной твердости почвы на этом участке. Такой перепад твердости не потребует от тракториста преклонения передачи трактора, и не приводит к изменению установившейся скорости взаимодействия центра масс кротователя с пахотным слоем [2]. Следовательно, данный типоразмер кротователя правильно подобран для обработки этого участка, его жесткость обеспечивает приспособляемость рабочего органа.

В уравнении (5) представлено также время самовыравнивания  $T_d$  – время, необходимое пружинному кротователю с подпружиненной тягой для самоприспособления к перепаду продольной твердости – очередному импульсу возмущения.

В качестве критерия самоприспособления рассматривается возврат тягового сопротивления к первоначальной величине, до возмущения, вызвавшего существенное отклонение от средней величины. За установившееся сопротивление кротователя принимается величина его тягового сопротивления при стабильных значениях диаметров витков, углов наклона и крошения витков на участке поля со средней продольной твердостью.

Общий интеграл однородного линейного уравнения ищем в форме

$$\varphi(t) = C e^{pt},$$

где  $C$  – постоянная, определяемая начальными условиями;

$p$  – корень характеристического уравнения  $T_d p + k_d = 0$ , определяемый как  $p = -k_d/T_d$ .

Следовательно,  $\varphi_{од}(t) = -C e^{(k_d/E_0)t}$ .

Частный интеграл неоднородного уравнения отыскивается в форме правой части уравнения, т.е. в форме постоянной величины  $\varphi_{н} = const$ .

Подстановка в уравнение (5) дает  $\varphi_{н} = \eta_B/k_d$

поэтому  $\varphi(t) = \eta_B/k_d + C e^{-(k_d/T_d)t}$ .

Так как при  $t=0$  и  $\varphi = 0$  справедливо  $C = (\eta_B/k_d)$ , следовательно

$$\varphi = (\eta_B/k_d) (1 - e^{-(k_d/T_d)t}). \quad (7)$$

Полученное выражение показывает, что переходный процесс, описываемый дифференциальным уравнением (5), является аperiodическим, экспоненциальным (кривая 1, рис. 3). В результате дифференцирования выражения (7) по времени получим

$$d\varphi/dt = (\eta_B/T_d) e^{-(k_d/T_d)t} \quad (8)$$

или  $(d\varphi/dt)_{t=0} = \eta_B/T_d$ .

Из полученного уравнения следует, что чем выше инерционность анализируемой системы «рабочий орган – обрабатываемая среда», то есть больше продолжительность самовыравнивания  $T_d$ , тем медленнее изменяется его скорость. Кинематический анализ работы кротователя [3] позволил установить, что скорость изменения определяющего расстояния зависит от силы упругости витка при заданном возмущении  $\eta_B$ .

Переходный процесс протекает так, что при  $t=0$  имеем  $\varphi = 0$ , а при условии  $t \rightarrow +\infty$  справедливо  $\varphi \rightarrow \eta_B/k_d$ .

Чем выше положительное значение коэффициента самовыравнивания  $k_d$ , тем меньше будет отличаться новое равновесное состояние исследуемой координаты  $\varphi$  от ее значения в равновесном режиме до возмущения (при заданной величине и характере возмущения  $\eta_B$ ).

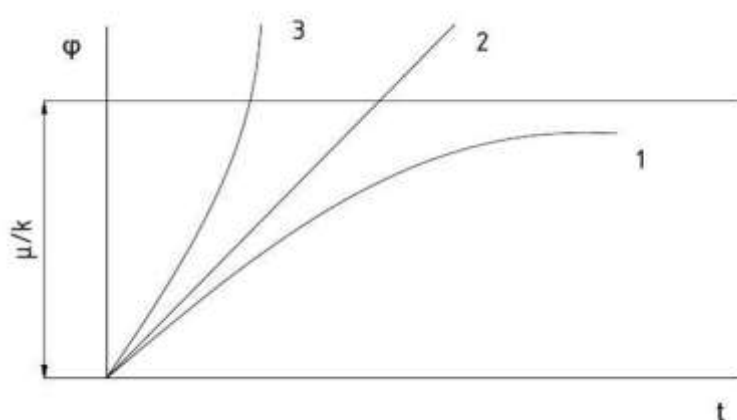


Рис. 3. Характерные варианты относительного изменения скорости центра масс пружинного кротователя

При  $k_d = 0$  производная (8) становится постоянной, и переходный процесс будет представлен лучом 2 (рис.3), проходящим через начало координат. При  $k_d < 0$  производная (8) положительна, поэтому переходный процесс соответствует кривой, отклоняющейся от этого луча к оси ординат ( $\varphi$ ), т.е., отклонение будет возрастать (кривая 3, рис.3). Движение центра масс пружинного кротователя становится неустойчивым, это означает формирование условий для ускоренного возврата центра масс деформированного (вытянутого) кротователя в исходное положение, соответствующее установившемуся движению рабочего органа. Это подтверждает, что пружинный кротователь автоматически приспособился к изменению условий обрабатываемой среды, а именно — к определенному перепаду продольной твердости.

На рисунке 3 асимптота  $\mu/k$  к кривой 1 выражает величину продольной жесткости почвы  $\mu$ , при которой кротователь со средней жесткостью  $k$  не проявляет признаков адаптации.

**Выводы.** Пружинный кротователь в определенных условиях проявляет свойства автоматической адаптации. Для самоприспособления рабочего органа нужно соблюдение ряда условий. Основным из них является соответствие жесткости кротователя к характерному перепаду продольной твердости почвы на обрабатываемом участке поля при рекомендованной поступательной скорости агрегата. Для расширения возможностей адаптации следует предусмотреть регуляторы жесткости кротователя. Одним из путей решения вопроса является формирование сети трещин в пахотном слое, например, введением рыхлительных элементов на щелерезе. Комплектование щелереза сменными типоразмерами кротователей различной жесткостью будет способствовать успешной эксплуатации такого орудия на полях с различной изменчивостью продольной твердости почв. Заострение режущей кромки витков способствует изменению полублокированного резания на свободное резание с отваливанием скалываемых комков вовнутрь формируемой кротовины [3]. Так как упругие свойства кротователя зависят не только от модулей упругости, жесткости и диаметра заготовки пружинного кротователя, но и от закономерности изменения диаметра, формы сечения заготовки вдоль конической винтовой линии, целью дальнейших исследований является установление характера их взаимосвязей.

#### Литература

1. Акимов, А. П. Работа колес / А. П. Акимов, В. И. Медведев, В. В. Чегулов. — Чебоксары : ЧПИ МГОУ, 2011. — 168 с.
2. Казаков, Ю. Ф. Изменчивость продольной твердости почвы как генератор колебаний пружинного кротователя / Ю. Ф. Казаков // Рациональное природопользование и социально-экономическое развитие сельских территорий как основа эффективного функционирования АПК региона : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию со дня рождения заслуженного работника сельского хозяйства Российской Федерации, почетного гражданина Чувашской Республики Айдака Аркадия Павловича. (г. Чебоксары, 2017). — Чебоксары : ФГБОУ ВО Чувашская ГСХА, 2017. — С.105-109.
3. Казаков, Ю. Ф. Почвообрабатывающие рабочие органы — механизмы / Ю. Ф. Казаков. — Чебоксары, 2020. — 164 с.
4. Константинов, Ю. В. Многокритериальная оптимизация параметров пружины конического рыхлителя / Ю. В. Константинов // Теория и практика современной аграрной науки : сборник национальной

(Всероссийской) научной конференции. – Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет. – 2018. – С. 191-193.

5. Крутов, В. И. Автоматическое регулирование и управление двигателей внутреннего сгорания / В. И. Крутов. – Москва : Машиностроение, 1989. – 416 с.

6. Мазяров, В. П. Разработка и использование опытного образца подпокровного рыхлителя с рабочими органами реактивного действия / В. П. Мазяров, Т. В. Мазярова // Заключительный отчет НИОКР. Регистрационный номер №01201059003 ФГНУ «ЦИТиС», 2011. – 65 с.

7. Максимов, И. И. Энергетическая концепция эрозионной устойчивости антропогенных агроландшафтов / И. И. Максимов, В. И. Максимов. – Чебоксары : Чувашская ГСХА, 2006. – 304с.

8. Медведев, А. А. Твердость почв / А. А. Медведев. – Харьков : Изд-во «Городская типография», 2009. – 152 с.

9. Медведев, В. И. Эффективность неполнокруглых тракторных пневмошин на поверхностях с малой несущей способностью и беспокойным микрорельефом / В. И. Медведев, А. П. Акимов, В. Н. Батманов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 5. – С. 32-34.

10. Мониторинг плотности почвы пахотного горизонта в системе точного (управляемого) земледелия / А. Кушнарв, В. Кравчук, С. Кушнарв, В. Дюжаев // Техніка и технології в АПК. – 2010. – № 9(12). – С. 12-16.

11. Регулирование и саморегулирование процессов в почвообработке / В. И. Ветохин, А. И. Беловед, Н. В. Прилепо, А. Н. Алтыбаев // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Международной научно-практической конференции. – Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве. – Минск : Белорусский государственный агротехнический университет. – 2019. – № 2(1). – С. 40 - 41.

12. Determination of energy characteristics of conical rotary working tool for tillage / F. Yarullin, A. Valiev, F. Muhamadyarov, at al. // Engineering for rural development. 19th international scientific conference. Jelgava, 2020. P. 1069–1075.

13. Kazakov Y.F., Medvedev V.I., Ivanov V.M. On the development of combined tillage working bodies-mechanisms. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International AgroScience Conference, AgroScience 2019. C. 012019.

14. Soil compaction management: reduce soil compaction using a chain-track tractor / S. Mudarisov, I. Gainullin, I. Gabitov, at all. // J. Terramechanics, 2020 **89** 1 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2020.02.002>

15. Theoretical substantiation of parameters of rotary subsoil loosener / A. Valiev, I. Mukhametshin, F. Muhamadyarov, at al. // Engineering for Rural Development. 18th international scientific conference. Jelgava, 2019. P.312–318.

#### *Сведения об авторе*

**Казаков Юрий Федорович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет; 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, Чувашская Республика, Россия; e-mail: ura.kazakov@mail.ru, тел. 8-903-359-66-75.

### **PREDICTION OF ADAPTABILITY OF A SPRING MOLE CUTTER**

**Yu. F. Kazakov**

*Chuvash State Agrarian University  
428003, Cheboksary, Russian Federation*

**Abstract.** *It is proposed to apply a time-stretched process of entry into the work of the working bodies during the slotting with mole. This creates conditions for increasing the load factor of the tractor engine with which the tool is aggregated. The rotator is made in the form of a complex-shaped conical spring, the thrust of which is spring-loaded. When the longitudinal hardness of the soil changes, it stretches, the diameters of the turns decrease, and, as a result, the traction resistance of the working body decreases. After passing the overcompacted strip, the parameters of the mole rat are restored. Due to its longitudinal and transverse deformations, the mechanism may deviate into the region of the reservoir, in which there is less strength of intrasoil bonds. The purpose of the research is to analyze the conditions under which continuous adaptation of the working body, self-oscillatory movements of the center of mass of the mole-maker is possible. By the method of analysis of non-stationary processes, which are influenced by several constantly changing factors, a differential equation of the motion of the mole-catcher was obtained. A functional diagram of this mechanism has been developed. Changes in the longitudinal hardness of the soil, the rigidity of the turns, and the diameter are taken as input factors. The transfer functions of the influence of structural and technological factors on the change in the speed of the mole-maker are obtained. To expand the possibilities of adaptation, it is proposed to use stiffness regulators, additional loosening elements on a slotted knife to form a network of cracks in the arable layer. In fields with a characteristic variability in the longitudinal hardness of soils, equipping*

*the tool with interchangeable mole-cutters of different hardness will contribute to the successful operation of such a tool.*

**Key words:** *spring mole, functional scheme, equation of motion; adaptability of the mole-catcher, replaceable standard sizes of the working body.*

#### References

1. Akimov, A. P. Rabota koles / A. P. Akimov, V. I. Medvedev, V. V. Chegulov. – CHEboksary : CHPI MGOU, 2011. – 168 s.
2. Kazakov, YU. F. Izmenchivost' prodol'noj tverdosti pochvy kak generator kolebanij pruzhinnogo krotovatelya / YU. F. Kazakov // Racional'noe prirodopol'zovanie i social'no-ekonomicheskoe razvitie sel'skih territorij kak osnova effektivnogo funkcionirovaniya APK regiona : materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 80-letiyu so dna rozhdeniya zaslužennogo rabotnika sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii, pochetnogo grazhdanina CHuvashskoj Respubliki Ajdaka Arkadiya Pavlovicha. (g. CHEboksary, 2017). – CHEboksary : FGBOU VO CHuvashskaya GSKHA, 2017. – S.105-109.
3. Kazakov, YU. F. Pochvoobrabatyvayushchie rabochie organy – mekhanizmy / YU. F. Kazakov. – CHEboksary, 2020. – 164 s.
4. Konstantinov, YU. V. Mnogokriterial'naya optimizaciya parametrov pruzhiny konicheskogo ryhlitelya / YU. V. Konstantinov // Teoriya i praktika sovremennoj agrarnoj nauki : sbornik nacional'noj (Vserossijskoj) nauchnoj konferencii. – Novosibirsk : Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. – 2018. – S. 191-193.
5. Krutov, V. I. Avtomaticheskoe regulirovanie i upravlenie dvigatelej vnutrennego sgoraniya / V. I. Krutov. – Moskva : Mashinostroenie, 1989. – 416 s.
6. Mazyarov, V. P. Razrabotka i ispol'zovanie opytного obrazca podpokrovnogo ryhlitelya s rabochimi organami reaktivnogo dejstviya / V. P. Mazyarov, T. V. Mazyarova // Zaklyuchitel'nyj otchet NIOKR. Registracionnyj nomer №01201059003 FGNU «CITiS», 2011. – 65 s.
7. Maksimov, I. I. Energeticheskaya koncepciya erozionnoj ustojchivosti antropogennyh agrolandshaftov / I. I. Maksimov, V. I. Maksimov. – CHEboksary : CHuvashskaya GSKHA, 2006. – 304s.
8. Medvedev, A. A. Tverdost' pochv / A. A. Medvedev. – Har'kov : Izd-vo «Gorodskaya tipografiya», 2009. – 152 s.
9. Medvedev, V. I. Effektivnost' nepolnokruglyh traktornyh pnevmoshin na poverhnostyah s maloj nesushchej sposobnost'yu i nespokojnym mikrorel'efom / V. I. Medvedev, A. P. Akimov, V. N. Batmanov // Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. – 2005. – № 5. – S. 32-34.
10. Monitoring plotnosti pochvy pahotnogo gorizonta v sisteme tochnogo (upravlyаемого) zemledeliya / A. Kushnarev, V. Kravchuk, S. Kushnarev, V. Dyuzhaev // Tekhnika i tekhnologii v APK. – 2010. – № 9(12). – S. 12-16.
11. Regulirovanie i samoregulirovanie processov v pochvoobrabotke / V. I. Vetohin, A. I. Beloved, N. V. Prilepo, A. N. Altybaev // Tekhnicheskoe i kadrovoe obespechenie innovacionnyh tekhnologij v sel'skom hozyajstve : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Tekhnicheskoe i kadrovoe obespechenie innovacionnyh tekhnologij v sel'skom hozyajstve. – Minsk : Belorusskij gosudarstvennyj agrotekhnicheskij universitet. – 2019. – № 2(1). – S. 40 - 41.
12. Determination of energy characteristics of conical rotary working tool for tillage / F. Yarullin, A. Valiev, F. Muhamadyarov, et al. // Engineering for rural development. 19th international scientific conference. Jelgava, 2020. P. 1069–1075.
13. Kazakov Y.F., Medvedev V.I., Ivanov V.M. On the development of combined tillage working bodies-mechanisms. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International AgroScience Conference, AgroScience 2019. S. 012019.
14. Soil compaction management: reduce soil compaction using a chain-track tractor / S. Mudarisov, I. Gainullin, I. Gabitov, et al. // J. Terramechanics, 2020 89 1 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2020.02.002>
15. Theoretical substantiation of parameters of rotary subsoil loosener / A. Valiev, I. Mukhametshin, F. Muhamadyarov, et al. // Engineering for Rural Development. 18th international scientific conference. Jelgava, 2019. P.312–318.

#### *Information about the author*

**Kazakov Yuriy Fedorovich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University; 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29, Chuvash Republic, Russia; e-mail: [ura.kazakov@mail.ru](mailto:ura.kazakov@mail.ru); tel. 89033596675.