

ФАКТОРЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ И ЭНЕРГОЗАТРАТАМИ ПРИ РЫХЛЕНИИ ПОЧВ

Казakov Ю.Ф., Медведев В.И., Терентьев А.Г., Павлов В.С., Смирнов А.Г.

Реферат. Процесс деформации почвы – траектория в многомерном пространстве главных напряжений и главных деформаций, а также времени, т.е. скорости приложения усилий деформатора. Следовательно, достигнуть ее разрушения можно при разных затратах энергии. При более рациональных технологиях объемные деформации минимальны, и наоборот. Разрушение почвенного массива должно быть по линиям и плоскостям, характеризуемым наименьшей прочностью. Более предпочтительны рабочие органы, элементы которых исполнены так, что минимизируются размеры зоны уплотнения, неизбежно возникающие в результате их воздействия на почвенный пласт. На динамику этого процесса влияют вид кривой нагружения, скорость последствия. Оценка эффективности при непрерывном колебании постоянной амплитудой и частотой не выявила максимума энергетического к.п.д. Перспективным направлением является дополнительное колебание рабочего органа единичными импульсами. Предложена конструкция почвообрабатывающего рабочего органа, самоприспосабливающего к изменяющимся условиям функционирования. На основании уравнения движения установлены факторы, влияющие на качество и энергетические затраты процесса рыхления почвы. Предложены конструкционные изменения с целью повышения эффективности.

Ключевые слова: почва; деформация почвы; колебание рабочих органов; амплитуда колебаний; продольная твердость почвы; плотность распределения продольной твердости; пределы адаптации рабочих органов.

Введение. При разработке перспективных почвообрабатывающих технологий, проектировании рабочих органов следует отдавать предпочтение рабочим органам с большой степенью свободы [1], исходить от изменчивости удельного сопротивления [2], от продольной твердости почвы [3].

Возникновение сопротивления почвы на рабочих органах академик В.П. Горячкин рассматривал как суммарное воздействие толчков или ударов почвенных частиц. Поэтому меру воздействия рабочих органов на обрабатываемый материал он предложил определять через импульс силы. В работе [4] дано пояснение возникновения динамической компоненты тягового сопротивления стрелчатой лапы в песке. Элементарная площадка рабочей поверхности рабочего органа воспринимает множество элементарных детерминированных импульсов, затухающих, например, по закону e^{-at} . Учитывая статистическую природу характеристик почвы, такой процесс на макроскопическом уровне наблюдается как осредненный процесс с корреляционной функцией $R_{\Delta P_{ci}}(\tau) = a^2 e^{-2\lambda|\tau|}$ и плотностью распределения $S(\omega)$, где a^2 – средний квадрат амплитуды импульсов; λ – интенсивность импульсов, распределенных в общем случае по элементарным площадкам рабочего органа по закону Пуассона. Экспериментальные исследования изменчивости продольной твердости пахотного слоя после вспашки [5] и фрезерования [6] проведенные в нашей стране и за рубежом [7] показали значительную

изменчивость этого параметра почвы. Появилась настоятельная необходимость отразить этот фактор в принципах конструирования почвообрабатывающих рабочих органов [8].

Колебания рабочей поверхности вносят изменения в естественный процесс релаксации напряжений. В зависимости от параметров они могут способствовать или препятствовать процессу разрушения. Тяговое сопротивление при вынужденных колебаниях орудия, его рабочих органов может убывать или возрастать по сравнению с тяговым сопротивлением без вибраций. Это происходит потому, что на распределение значений величин, характеризующих предельные напряжения в почве, существенно влияют поперечное сечение пласта, скорость колебания рабочего органа [9], рамы орудия, а также волновые процессы, возникающие при этом в почве [10].

При вибрировании рабочего органа происходит перераспределение диссипативных сил. Скорость частиц обрабатываемого материала относительно рабочей поверхности при вибрации может возрастать или уменьшаться, соответственно, наблюдается снижение или возрастание коэффициента трения и степени прилипания почвы к рабочему органу. Имеет место разрыхление или дополнительное уплотнение обрабатываемого материала. Эти явления могут происходить одновременно, но на разных участках, а это может привести к изменению некоторых его физико-

механических характеристик и, в первую очередь, внутреннего трения. Эффект вибраций будет зависеть от того, какое сочетание всех этих факторов имеет место.

В работе [11] представлена безразмерная характеристика процесса вибрации, отражающая относительное изменение тягового усилия. Установлены основные факторы, определяющие эффективность вибрации: отношение вибрационной и поступательной скоростей; величина средней амплитуды; характеристики среды: коэффициент трения, плотность почвы, удельное сопротивление почвы. Относительное снижение тягового усилия прямо пропорционально повышению частоты и амплитуды и обратно пропорционально повышению поступательной скорости. Установлено, что при непрерывном колебании постоянной амплитудой и частотой нет максимума энергетического к.п.д.

Целью статьи является анализ факторов, управление которыми позволит повысить эффективность процесса рыхления почвообрабатывающими рабочими органами, совершающими нерегулярные вынужденные колебания.

Рабочие органы – механизмы (РОМ) характеризуются свойствами адаптироваться к изменяющимся условиям работы [12]. При этом положение элементов деформатора по отношению к обрабатываемой среде непостоянное, в результате создаются условия для деформации почвы менее затратным способом, например, сдвигом и отрывом. Первый этап взаимодействия РОМ (рисунок 1) с почвой – смятие некоторого объема прилегающей почвенной среды, завершается сколом ограниченного объема почвы в сторону открытой поверхности (при кротовании – к центру дрены) преимущественно отрывом и сдвигом. Приспособление кротователя происходит путем отклонения витков от первоначального положения, изменения их диаметра. При увеличении сопротивления плоскость витка отклоняется назад, угол постановки витка, его элементов к сжимаемой почве изменяется, в пределе этот угол может стать менее угла трения. Так как кротователь растягивается, то диаметр витка уменьшается по мере увеличения его тягового сопротивления.

Для пружинного кротователя 4 (рисунок 1) на упругой тяге, следующего за дреном 2, смонтированном на чизельном ноже 1, необходимо отдельно рассматривать результат воздействия на прилегающий объем как дрены, так и отдельных витков пружинного кротователя.

Дренир, как цилиндрическое заостренное

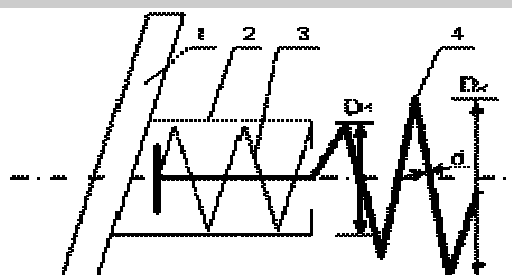


Рисунок 1 – Схема рыхлителя с пружинным кротователем:

- 1 – черенковый нож,
- 2 – дренир (тяговая опора),
- 3 – упругий элемент тяговой опоры,
- 4 – пружинный кротователь

тело, в почвенной среде формирует напряжения сжатия. Происходит уплотнение почвенных агрегатов за счет движения их навстречу друг другу. Прежде всего, происходит заполнение пустот, вытеснение воздуха и газов из почвенных пустот, а также движение жидкости, в том числе по капиллярам. При дальнейшем воздействии начинается непосредственное взаимодействие почвенных агрегатов между собой, формируется преимущественно упругая деформация. Волна пластических деформаций наслаивается волной упругих деформаций. На витках формируются почвенные наросты.

Диаметр первого витка D_1 (рисунок 1) незначительно отличается от диаметра дренира. Но к началу взаимодействия его с почвой в ней произойдет рассеивание как пластических напряжений, так и упругих.

Следующий виток продолжает взаимодействие с прилегающим объемом почвы, в котором уже произошло рассеивание некоторой доли напряжений. Аналогично лезвию лемеха, каждый участок витка пружинной проволоки диаметром d в микрообъеме производит смятие, скалывание почвы, причем это процесс дискретный. Можно эти моменты рассматривать как череду микроударов, являющихся генератором колебаний прилегающего к виткам объема почвы. В результате почвенный нарост может «сойти» с витка – произойдет его самоочистка. Будет наблюдаться перепад тягового сопротивления рабочего органа.

Действие завершающего витка диаметром D_2 (рисунок 1), имеющего большой запас кинетической и потенциальной энергии, будет иметь выраженный характер удара. Энергия этого удара будет достаточной для инициализации сети микротрещин в уплотненном объеме почвы

Обоснование конструктивных

параметров пружинного кротователя с позиции виброреологии дано Медведевым В.И. [13]. В [14] предложена методика расчета потребного объема заготовки для изготовления кротователя с учетом величины площади и формы сечения, обосновано введение пружины 3 (рисунок 1) в тяговую опору для расширения адаптационных возможностей.

Для анализа факторов управления качеством рыхления почвы, энергозатратами составим уравнение движения рабочего органа. Уравнение даст возможность установить функциональную связь между этими величинами и характерными параметрами, определяющими состояние системы в установившемся режиме. К таким параметрам можно отнести максимальные амплитуды, соответствующие заданному уровню возбуждения, или максимальные частоты, определяющие вид амплитудно-частотных характеристик.

Условия, материалы и методы исследований. Почву представим упруго-вязкой средой, пружинный кротователь – в виде одномассовой системы. Пружину в тяговой опоре и витки пружинного кротователя будем рассматривать как динамическую систему. Вязкость среды принимаем линейной. Нелинейность упругой характеристики принимаем в кубической зависимости от перемещений.

Уравнение движения эластичного кротователя на подпружиненной тяге, смонтированной в дренаже чизельного ножа, представим в виде одномассовой нелинейно-упругой системы, движущейся в вязкой среде.

$$\ddot{u} + 2\epsilon\dot{u} + \omega_0^2 u + f(u, \dot{u}, \ddot{u}) = g(t). \quad (1)$$

Здесь: u – перемещение; m – масса; $\epsilon = g/m$ – коэффициент затухания; $\omega_0 = \sqrt{c/m}$ – частота собственных колебаний; $q(t) = Q(t)/m$ – случайная функция, для которой известны статистические характеристики, g – коэффициент линейного (вязкого) демпфирования; c – жесткость; $f(u, \dot{u}, \ddot{u})$ – некоторая нелинейная функция перемещения, скорости и ускорения деформатора; $Q(t)$ – внешнее воздействие, характеризуемое регулярной и случайной составляющими.

Решив уравнение (2), будут получены статистические характеристики выходного процесса $u(t)$ – движения эластичного кротователя почвы на подпружиненной тяге.

Внешнее воздействие на кротователь есть сопротивление почвенной среды, и оно имеет регулярный характер. В то же время оно зависит от параметров деформируемой среды, а скорости тягового средства (трактора).

Поэтому будем рассматривать его как величину со случайными отклонениями от номинальных (средних) значений в виде периодической функции: $q(t) = Q \cos(\theta t + \psi)$, где Q – случайная величина тягового сопротивления с известным распределением; θ – фиксированная частота; ψ – угол сдвига фаз.

Нами принято допущение, что нелинейность упругой характеристики имеет кубическую форму:

$$\ddot{u} + 2\epsilon\dot{u} + \omega_0^2 u + bu^3 = Q \cos(\theta t + \psi) \quad ;(2)$$

В соответствии с [15], приближенное соотношение между амплитудой A установившихся колебаний, близких к гармоническим с частотой θ , и величиной тягового сопротивления Q , представим:

$$\left[(\omega_0^2 - \theta^2)A + \frac{3}{4}bA^3 \right]^2 + 4\epsilon^2 A^2 \theta^2 = Q^2 \quad .(3)$$

В зависимости от изменчивости продольной твердости пахотного слоя – уровня возбуждения Q , это уравнение объединяет семейство амплитудно-частотных характеристик $A = f(\theta)$. Максимальные амплитуды A_* в этом семействе описываются уравнениями:

$$\begin{aligned} dA/d\theta &= 0; \\ \theta^2 - 3/4bA_*^2 &= \omega_0^2 - 2\epsilon^2. \end{aligned} \quad (4)$$

В точках характеристик, для которых $d\theta/dA = 0$, выполняется соотношение:

$$\left(\omega_0^2 - \theta^2 + \frac{3}{4}bA_* \right) \left(\omega_0^2 - \theta^2 + \frac{9}{4}bA_*^2 \right) + 4\epsilon^2 \theta^2 = 0. \quad (5)$$

Преобразуя выражения (4) и (5), выразим θ^2 через амплитуду A , и подставим в (4). В результате установим аналитически связь между случайной величиной тягового сопротивления Q и случайной величиной амплитуды A .

Для максимальной амплитуды колебаний A_* необходимая величина возбуждения составит:

$$Q = g(A_*) = A_* \left[4\epsilon^2 (\omega_0^2 - \epsilon^2) + 9\epsilon^2 b A_*^2 + \frac{9}{4} b^2 A_*^4 \right] \quad (6)$$

Если величину тягового сопротивления рабочего органа с адаптируемыми размерами геометрических параметров принять как случайную величину с нормальным (гауссовским) распределением (рисунок 4), с математическим ожиданием $\langle Q \rangle = \bar{Q}$ и дисперсией σ^2 , то плотность вероятности максимальной амплитуды выразится так:

$$p(A_*) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[g(A_*) - \bar{Q}]^2}{2\sigma^2}\right\} \left| \frac{dg(A_*)}{dA_*} \right|. \quad (7)$$

В это выражение $g(A_*)$ подставляется из уравнения (6).

В качестве основного фактора, формирующего нелинейность (параметр b в уравнении 2), принимаем упругую характеристику динамической системы. Нелинейность упругой характеристики свойственна коническим пружинам, изготавливаемым, в общем случае, из проволоки некруглого сечения. Варианты упругих характеристик пружин представлены на рисунке 2. Нами в [14] предложено для их реализации варьировать диаметром прутка (заготовки для пружины) и его объемом с учетом свойств материала, формы сечения, например, эллиптического и прямоугольного. Для конической пружины, выполненной из прутка эллиптического сечения, ее усадка

$$\lambda = \frac{PN}{c^4 G} [R_1^2 + R_2^2] \cdot [R_1 + R_2] \frac{1+k^2}{k^3}$$

зависит от нагрузки P , соотношения между большой и малой полуосями сечения $k=b/c$, величины радиусов малого и большого витков конической пружины R_1, R_2 , модуля сдвига пружинного материала G , количества витков N .

Потребный объем прутка пружины установлен через энергию деформации почвы, поглощаемой пружиной. Потенциальная энергия деформации пружины обуславливается работой внешних сил. При определенных технических решениях, частности, наличии ограничителей, предварительном сжатии, наличии зазоров, характеристики пружин могут быть существенно изменены.

Анализ и обсуждение результатов. Анализ почвенных твердограмм пахотного слоя показал, что их изменчивость описывается законом нормального распределения [7]. Силовое возбуждение колебаний кротователя, прежде всего, обусловлено изменчивостью продольной твердости пахотного слоя почвы. Непрерывное изменение твердости приведет к перепаду тягового сопротивления. От того, как часто встречаются на поле переуплотненные полосы почвы, от размаха колебаний величины твердости на этих полосах, от скорости воздействия деформатора на почву в конечном случае зависят качество и энергоемкость процесса рыхления.

Рабочие органы большинства

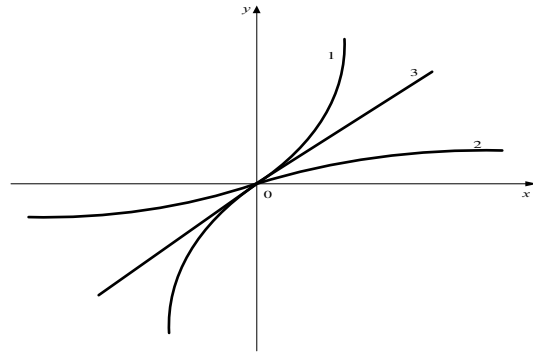


Рисунок 2 – Упругие характеристики пружин: 1 – жесткой конической пружины, 2 – мягкой конической пружины; 3 – цилиндрической пружины

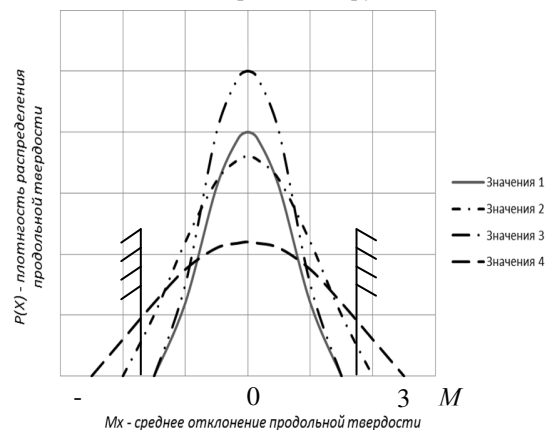


Рисунок 3 – Взаимосвязь плотности распределения продольной твердости и ее среднего отклонения

почвообрабатывающих орудий имеют жесткую конструкцию и жестко закреплены на раме орудия, имеют одну степень свободы. Увеличение числа степеней свободы рабочих органов рассматривается нами как фактор, способствующий их самоприспособляемости к изменяющимся почвенным условиям, разрушению внутрипочвенных связей по линиям и плоскостям с наименьшей прочностью. Надежность процесса самоочистки витков кротователя от почвенных наростов также зависит от соотношения амплитуд колебаний продольной твердости и возмущающей силы динамической системы.

Рассматривая твердограммы как случайные функции, рассмотрим возможные нижний и верхний пределы (на рисунке 3 пределы представлены вертикальными линиями по обе стороны от центральной оси) изменения жесткости пружин рабочего органа как динамической системы.

Твердограммы пахотного слоя, полученные непрерывной регистрацией сигналов от датчиков продольного твердомера площадью 1 кв. см, представляют собой, по сути, удельное сопротивление почвы. Таким

образом, уравнение (7) представляет собой взаимосвязь изменчивости удельного сопротивления и плотности вероятности амплитуды.

Если дисперсия невелика, то влияние множителя $|dg/dA^*|$ на вид плотности вероятности будет мало ощутимо. При этом распределение амплитуды A^* будет близко к гауссовскому. При большом разбросе амплитуды возбуждения соотношение между максимальной амплитудами колебаний и возбуждения может оказать решающее влияние на характер функции $p(A^*)$. В частности, распределение может стать бимодальным за счет интенсивного роста производной $|dg/dA^*|$ при больших A^* [15].

Проанализируем влияние среднего отклонения продольной твердости на плотность ее вероятности и оценим степень адаптируемости динамической системы пружинного кротователя.

Если среднее отклонение продольной твердости почвы меньше нижнего предела (на рисунке 3 – слева от центральной оси), то адаптация рабочего органа будет сведено к незначительным отклонениям витков, которые не всегда обеспечивают самоочищение от почвенных наростов. Возможно биение витков кротователя, диссипативные свойства почвы приведут к сглаживанию колебаний.

В диапазоне между нижней и верхней пределами изменения продольной твердости достаточны для обеспечения самоочистки витков от почвенного нароста, витки адаптируются по величине диаметра и углу наклона. Не следует ожидать импульса витков по прилегающей почве, не будет и ударного импульса тяги кротователя 4 по черенковому ножу 1 (рисунок 1). Такая изменчивость продольной твердости наиболее вероятна на участках со спелой почвой, на полях после зерновых.

В окрестностях верхнего предела (рисунок 3) имеют место существенные отклонения продольной твердости от среднего значения. Упругая характеристика пружины в тяговой опоре должна быть подобрана по этим отклонениям. После успешного преодоления кротователем переуплотненного участка будет достигнут ударный импульс тяги кротователя по дрениру.

Отклонения продольной твердости, превышающие верхний предел, следует принять в качестве расчетной нагрузки на прочность витков кротователя. Плотность вероятности максимальных амплитуд можно установить по уравнению (7). Расчеты на

усталостную прочность следует вести по значениям существенной плотности.

Выводы.

Для обработки полей с различным математическим ожиданием продольной твердости и ее изменчивостью в широких пределах потребуются несколько типоразмеров кротователей, отличающихся величиной предельной жесткости при узких пределах изменения упругости (рисунок 3, кривая 1). Пределы адаптации каждого из типоразмеров также будут достаточно узкими. Кривая 2 характеризует взаимодействие почвы с кротователем с широким пределом изменения жесткости. Этот результат проявляется в значительном растяжении кротователя при большой твердости, уменьшении диаметра витков конической части кротователя. Для обоснования оптимальных пределов жесткости (кривая 3), обеспечивающих самоочищаемость витков от почвенных наростов, необходима широкая база данных об изменчивости продольной твердости пахотного слоя, почв с характерными физико-механическими свойствами, с типовым гранулометрическим составом. Если взаимосвязь математического ожидания и плотности распределения продольной твердости представлена кривой 4, то из-за диссипативных свойств почвы при обработке такого участка на всем диапазоне будет наблюдаться сглаживание колебаний.

Для разных почв к почвообрабатывающему орудью должны быть изготовлены несколько комплектов рыхлителей с базовым диаметром малого основания.

С целью повышения эффективности виброударного взаимодействия предпочтение следует отдавать варианту рабочего органа с дополнительной подвижной частью перед черенковым ножом. В этом случае масса подвижной части будет мала, она будет непосредственно воздействовать на прилегающий объем почвы, в котором уже сформировано определенное напряженно-деформированное состояние. Следует ожидать, что такое решение будет эффективным даже при малой изменчивости продольной твердости.

С целью улучшения условий работы пружинного кротователя следует оснастить черенковый нож с двух сторон режущими лапами, расположенными на уровне встроенного дренира.

Литература:

1. Казаков, Ю.Ф. Анализ процесса рыхления почвы как системы / Ю.Ф.Казаков // Вестник НГИЭИ. – 2017. – №5 (72). – С.26-32.
2. Васильев, С. И. Совершенствование метода и технических средств для горизонтального измерения твердости почвы при внедрении технологии координатного земледелия: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / С. И. Васильев. – Пенза, 2007. – 19 с.
3. Кушнарв, А. 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..
4. Панов И. М. Физические основы механики почв: монография / И. М. Панов, В. И. Ветохин. – Киев: Феникс, 2008. – 266 с.
5. Овсянников, С.И. Исследование твердости и деформации почвы на пути движения самоходных машин / С.И.Овсянников //Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2016. – Т. 4. – №5-3 (25-3).- С. 112-117.
6. Давидсон, Е.И. Отслеживание неравномерности плотности почвы / Е.И. Давидсон //Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2007. - №4. - С.41.
7. Bolenius E., Rogstrand G., Arvidsson J., Strenberg B., Thylen L. On-the-go measurements of soil penetration resistance on a Swedish Eutric Cambisol // International Soil Tillage Research Organization 17- th Triennial Conference. Kiel, - Germany, 2006. P. 867-870.
8. Иванов, В.М. К вопросу разработки самоприспосабливающихся кротователей / В.М. Иванов, Ю.Ф.Казаков, Медведев В.И.// Вестник НГИЭИ, 2018. – №4 (83). Н.Новгород: С. 16-28.
9. А.С. №1392195 (СССР) МКИ Е 02 В11/02 Демпфирующий дрeнер / О.М. Досжанов, А.Т. Иванюк.- №4068730, заявл. 30.01.86; опубл. 30.04.88. Бюл.№16
10. Пат. 2544622 РФ, МПК А01В 13/16, А01В 13/08, А01В 15/00, Е02В 11/02. Подпoкpовный рыхлитель почвы / А.Г. Васильев, Ю.Ф. Казаков, А.В. Максимов.- №2014109204; заявл. 11.03.2014; опубл. 20.03.15. Бюл.8.
11. Дубровский, А. А. Вибрационная техника в сельском хозяйстве / А. А. Дубровский. - М.: Машиностроение, 1968.
12. Казаков, Ю. Ф. Результаты исследования пружинного кротователя / Ю. Ф. Казаков, В. В. Белов, А. В. Максимов // Известия Международной академии аграрного образования. – Санкт-Петербург, 2016. – Вып. 27(2). С. 15–19.
13. Медведев, В. И. Выбор оптимальных параметров почвообрабатывающей техники с использованием методов виброреологии и многокритериальной оценки / В. И. Медведев. – Чебоксары: ФГОУ ВПО ЧГСХА, 2000. – 98 с.
14. Казаков, Ю.Ф. К обоснованию конструктивных параметров пружинного подпочвенного рыхлителя / Ю.Ф.Казаков, М.Г. Максимов, Т.Ю. Агеносова // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции "Наука - Технология - Ресурсосбережение": сборник научных трудов - Санкт-Петербург ; Киров : Российская акад. трансп.; 2008 - С. 173-180.
15. Макаров, Б.П. Нелинейные задачи статистической динамики машин и приборов / Б.П. Макаров.- М.: Машиностроение, 1983. – 264 с.
16. Щитов С.В., Тихончук П.В., Митрохина О.П., Кидяева Н.П. Пути оптимизации энергозатрат в технологии возделывания сельскохозяйственных культур// Достижения науки и техники АПК . – 2015. – №6. – С. 72-74.

Сведения об авторах:

Казаков Юрий Федорович – доктор технических наук, доцент, e-mail: ura.kazakov@mail.ru
 Медведев Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, e-mail: mv1928@mail.ru
 Терентьев Алексей Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор
 Павлов Владимир Степанович - кандидат технических наук, доцент, e-mail: pvctolikovo@mail.ru
 Смирнов Анатолий Германович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: stts@lenta.ru
 ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Россия

FACTORS OF QUALITY MANAGEMENT AND ENERGY SATURES IN THE SOIL RELAXATION

Kazakov Yu.F., Medvedev V.I., Terentev A.G., Pavlov V.S., Smirnov A.G.

Abstract. The process of soil deformation is a trajectory in a multidimensional space of principal stresses and principal deformations, as well as time, that is, the speed of application of deformer forces. Consequently, it is possible to achieve its destruction at various energy costs. With more rational technologies, volume deformations are minimal, and vice versa. The destruction of the soil massif should be along lines and planes characterized by the least strength. More preferred are working elements, the elements of which are executed in such a way that the sizes of the compaction zone inevitably arising as a result of their action on the soil layer are minimized. The dynamics of this process is influenced by the shape of the loading curve, the after-effect speed. The evaluation of efficiency with continuous oscillation by constant amplitude and frequency did not reveal the maximum of the energy efficiency. A promising direction is the additional oscillation of the working organ by single impulses. The construction of a soil-working working organ, self-adapting to changing operating conditions, is proposed. On the basis of the equation of motion, factors influencing the quality and energy costs of the loosening of the soil are established. Design changes are proposed to improve efficiency.

Key words: soil; deformation of soil; oscillation of working units; amplitude of oscillations; longitudinal hardness of the soil; density distribution of longitudinal hardness; limits of adaptation of working organs.

References

1. Kazakov Yu.F. Analysis of the soil loosening process as a system. [Analiz protsessa rykhleniya pochvy kak sistemy]. / Yu.F. Kazakov // *Vestnik NGIEI. – The herald of NSUEE*. №5 (72). 2017. N.Novgorod: P. 26 -32.
2. Vasilev S.I. *Sovershenstvovanie metoda i tekhnicheskikh sredstv dlya gorizontalnogo izmereniya tvordosti pochvy pri vnedrenii tekhnologii koordinatnogo zemledeliya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. 05.20.01.* (Improvement of the method and technical means for the horizontal measurement of soil hardness in the introduction of the technology of coordinate agriculture: the author's abstract of dissertation for a degree of Ph.D. of Technical Sciences. 05.20.01). Penza, 2007. – P. 19.
3. Kushnarev A. Monitoring of soil density of arable horizon in the system of precise (managed) agriculture. [Monitoring plotnosti pochvy pakhotnogo gorizonta v sisteme tochnogo (upravlyayemogo) zemledeliya]. / A. Kushnarev, V. Kravchuk, S. Kushnarev, V. Dyuzhayev // *Tekhnika i tekhnologii v APK. - Technics and technology in the agroindustrial complex*. - 2010. - №9(12).- P. 12-16.
4. Panov I. M. *Fizicheskie osnovy mekhaniki pochv: monografiya*. [Physical basis of soil mechanics: monograph]. / I. M. Panov, V. I. Vetokhin. – Kiyev: Feniks, 2008. – P. 266.
5. Ovsyannikov S.I. *Issledovanie tverdsti i deformatsii pochvy na puti dvizheniya samokhodnykh mashin. // Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo gosudarstvennogo lesotekhnicheskogo universiteta im. G.F. Morozova.* (Investigation of the hardness and deformation of soil on the path of self-propelled machines. / S.I. Ovsyannikov // Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice). Voronezh: Voronezh State Forestry University named after. G.F. Morozov. - 2016. - Vol. 4 №5-3 (25-3). - P. 112-117.
6. Davidson E.I. Tracking the unevenness of soil density. [Otslezhivanie neravnomernosti plotnosti pochvy]. / E.I. Davidson // *Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny. - Tractors and agricultural machinery*. - 2007. - №4. - P. 41.
7. Bolenius E., Rogstrand G., Arvidsson J., Strenberg B., Thylen L. On-the-go measurements of soil penetration resistance on a Swedish Eutric Cambisol // International Soil Tillage Research Organization 17- th Triennial Conference. Kiel, - Germany, 2006. P. 867-870.
8. Ivanov, V.M. K voprosu razrabotki samoprисposablivayuschikhsya krotovateley. [On the development of self-adjusting moles]. / V.M. Ivanov, Yu.F.Kazakov, Medvedev V.I.// *Vestnik NGIEI. – The herald of NSUEE*, №4 (83). 2018. N.Novgorod: P. 16-28.
9. A.S. №1392195 (SSSR) MKI Ye 02 V11/02 *Dempfiruyushchiy drener.* (A.S. No. 1392195 (USSR) MKI E 02 B11 / 02 Damping driver). / O.M. Doszhanov, A.T. Ivanyuk.-№4068730, applied 30.01.86; published 30.04.88. bulletin №16.
10. *Pat. № 2544622 (RF) MPK A01V 13/16, A01V 13/08, A01V15/00, Ye02V 11/02. Podpokrovnyy rykhlytel pochvy.* (Pat. No. 2544622 (RF) IPC A01B 13/16, A01B 13/08, A01B15 / 00, E02B 11/02. Subcultivated soil ripper). // A.G. Vasilev, Yu.F. Kazakov, A.V. Maksimov. - №2014109204; applied 11.03.2014; published 20.03.15. bulletin 8.
11. Dubrovskiy A. A. *Vibratsionnaya tekhnika v selskom khozyaystve.* [Vibration technology in agriculture]. / A. A. Dubrovskiy. - M.: Mashinostroenie, 1968.
12. Kazakov Yu.F. The results of the investigation of the spring bender. [Rezultaty issledovaniya pruzhinnogo krotovatelya]. / Yu.F. Kazakov, V.V. Belov, A.V. Maksimov // SPb.: *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya. - Izvestiya of International Academy of Agricultural Education.* – 2016.- №27. - P.15-19.
13. Medvedev V. I. *Vybor optimalnykh parametrov pochvoobrabatvayushchey tekhniki s ispolzovaniem metodov vibroreologii i mnogokriterialnoy otsenki.* [Selection of optimal parameters of soil-cultivating equipment using the methods of vibroreology and multicriteria evaluation]. / V. I. Medvedev. – Cheboksary: FGOU VPO ChGSKhA, 2000. – P. 98.
14. Kazakov Yu.F. *K obosnovaniyu konstruktivnykh parametrov pruzhinnogo podpochvennogo rykhlytelya. // Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Nauka - Tekhnologiya – Resursosberezhenie”: sbornik nauchnykh trudov.* (To the substantiation of the design parameters of the spring subsoil ripper. / Yu.F. Kazakov, M.G. Maksimov, T.Yu. Agenosova // Proceedings of II All-Russian Scientific and Practical Conference “Science - Technology - Resource Saving”: a collection of scientific papers). - Sankt-Peterburg; Kirov: Rossiyskaya akad. transp.; 2008 - P. 173-180.
15. Makarov B.P. *Nelineynye zadachi statisticheskoy dinamiki mashin i priborov.* [Nonlinear problems of statistical dynamics of machines and devices]. / B.P. Makarov. - M.: Mashinostroenie, 1983. – P. 264.
16. Shitov S.V., Tihonchuk P.V., Mitrohina O.P., Kidyaveva N.P. Ways of optimization of power inputs in the technology of crops cultivation [Puti optimizatsii energozatrat v tehnologii vozdeliyvaniya selskokhozyaystvennykh kultur] // *Dostizheniya nauki i tekhniki apk. – Advances in -agriculture science and technology.* – 2015. – №6. – C. 72-74.

Authors:

Kazakov Yuriy Fedorovich - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, “Transport and technological machines and complexes” Department, e-mail: ura.kazakov@mail.ru
 Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia
 Medvedev Vladimir Ivanovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, “Transport and technological machines and complexes”, e-mail: mvi1928@mail.ru
 Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia
 Terentev Aleksey Grigorevich - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, “Transport and technological machines and complexes”
 Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia
 Pavlov Vladimir Stepanovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, “Transport and technological machines and complexes” Department, e-mail: pvctolikovo@mail.ru
 Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia
 Smirnov Anatoliy Germanovich – Ph.D. of Technical sciences, Associate Professor, “Transport and technological machines and complexes” Department, e-mail: stts@lenta.ru
 Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia