

**К РАЗРАБОТКЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ  
НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГРАММ ПОЛЕЙ****Казаков Ю.Ф., Медведев В.И., Терентьев А.Г., Павлов В.С.,  
Смирнов А.Г., Акимов А.П.**

**Реферат.** При решении инженерных задач в почвообработке применяется удельное сопротивление почвы. Применение твердограмм является более предпочтительным при конструировании почвообрабатывающих рабочих органов и эксплуатации сельскохозяйственной техники. Разработанные технологии и приборы для непрерывного послойного определения продольной твердости пахотного слоя позволяют получить почвенные карты по твердости, создать базу данных. К факторам, влияющим на изменчивость твердости, относятся технология возделывания культур, ширина междурядий, параметры, количество и колея движителей мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных орудий, ширина технологической колеи. Рассмотрены влияния степеней свободы рабочих органов на интенсивность рыхления почвы, величину и характер изменения тягового сопротивления как отдельного рабочего органа, так и всего орудия. Предложен комбинированный рабочий орган в составе черенкового ножа, встроенного в него дренажа, пружинного кротователя на подпружиненной тяге, создающий условия для реализации малоинтенсивных видов деформаций, эффекта Баушингера. Достоинством рабочего органа является непрерывная автоматическая адаптация геометрических параметров. Для проектного и прочностного расчета таких рабочих органов, синтеза упругих характеристик рекомендовано использовать методы теории случайных колебаний. Силовое и кинематическое возмущение колебаний обусловлено изменчивостью твердости пахотного слоя, скорости движения рабочего органа, виброреологических свойства почвы, параметрами упругой характеристики системы пружин кротователя. Дано обоснование сглаживающей возможности проектируемой динамической системы путем обоснования рациональных конструктивных параметров, выбора материала, определения параметров системы по известным характеристикам на входе и выходе.

**Ключевые слова:** твердость почв, твердограмма, силовое и кинематическое возмущение, комбинированный почвообрабатывающий рабочий орган, степень свободы рабочего органа, метод теории случайных колебаний.

**Введение.** Характеристикой почвы, используемой при проектировании почвообрабатывающих рабочих органов, является ее удельное сопротивление. Удельное сопротивление зависит от влажности, плотности, физико-механических свойств, гранулометрического состава, содержания гумуса, является переменной величиной даже для почвы на одном поле, на одном участке. Профессор Медведев А.А.[1] полагает, что плотность сложения почвы не дает однозначного основания для оценки энергетических показателей процесса ее обработки рабочим органом почвообрабатывающего орудия. Наиболее корректным показателем прочностных свойств почвы при конструировании и эксплуатации почвообрабатывающей техники следует считать твердость почвы. Твердость как прочностной показатель должна стать важным в решении вопроса о способе и интенсивности обработки почвы. Применение твердости для вышеперечисленных целей сдерживает отсутствие базы данных. Твердограммы могут найти применение для оценки эрозийной устойчивости почв, в качестве альтернативы удельному сопротивлению, при определении несущей

способности почв, проходимости машинно-тракторных агрегатов в зависимости от типа ходовой системы, при конструировании рабочих органов почвообрабатывающих машин и т.д.

Целью статьи является обоснование путей реализации параметров изменчивости твердости почв при разработке почвообрабатывающих рабочих органов.

**Условия, материалы и методы исследования.** Ученые Шведского университета разработали оборудование и метод непрерывного измерения продольной твердости по слоям для построения почвенных карт по твердости [11]. На участках с высокой изменчивостью плотности и твердости [2] предложено использовать твердограмму пахотного слоя для регулирования режима работы почвообрабатывающей фрезы в целях обеспечения требуемого качества рыхления почвы за один проход орудия. Шакиров Р.Р. [3] предложил использовать сигналы твердомера, установленного на переднем мосту колесного трактора, для оперативного управления подачей топлива топливным насосом. Совершенствованию метода и технических средств для горизонтального

измерения твёрдости почвы посвящены исследования [4].

Исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показали, что твердость, как и прочность почвы, является непостоянной величиной даже в пределах одного участка [5]. Твердость как прочностной показатель зависит от скорости движения рабочего органа, а это в свою очередь через характер протекания диаграммы «напряжение – деформация», отражается на энергозатратах на ее обработку. Таким образом, твердограммы следует учитывать при проектировании конструкции рабочих органов, выборе рациональной скорости и глубины обработки, составлении почвообрабатывающих агрегатов.

Изменение твердости почвы имеет случайный характер как по продолжительности, так и по величине отклонения. Чем больше длина гона, представленная на твердограмме, тем больше вероятность повторения некоторых статистических закономерностей зарегистрированных значений твердости. Это объясняется возрастанием информативности реализации. Такое распределение зарегистрированных численных значений позволяет этот процесс признать случайным: зная характер изменения величины на пройденной длине гона нельзя предсказать его характер на оставшемся пути.

В работе [6] при определении твердости поля установлено, что с увеличением скорости движения (с 1,5 м/с до 1,96 м/с) спектры дисперсии сдвигаются в сторону увеличения частот, при которых спектральная плотность максимальна: (0,240 – 0,628) 1/с. Твердограммы получены на делянках из-под кукурузы на силос, обработанных в течение 7 последних лет на глубину 25 – 30 см: отвальным плугом (вариант А), плоскорезом (вариант Б), плоскорезом (на глубину 10-15 см) в течение 3 предыдущих лет (вариант В). Анализ полученных твердограмм показал, что изменения твердости почвы носят широкополосный характер, коэффициент вариации составил 9,1...9,8%. Процесс изменения сопротивления почвы имеет низкочастотный спектр дисперсии с частотой среза до 5,03 с<sup>-1</sup>.

Изменение твердости почвы будем рассматривать как центрированную случайную функцию с нормальным законом распределения ее численных значений [7]. На твердограмме выделяем случайные и периодические составляющие. Гармонические составляющие различны как по величине отклонения сигнала датчика твердомера, так и по частоте повторения. Через характеристики

изменчивости твердости оценим вероятную амплитуду и частоту – количество отклонений величины на твердограмме, соответствующей определенной длине гона и определенной скорости. Эти величины будут приняты в качестве исходных значений для проектных расчетов рабочих органов по условиям усталостной прочности.

**Анализ и обсуждение результатов исследования.** Характер изменения твердости зависит от технологии и агротехники возделывания сельскохозяйственных культур, состава применяемых машинно-тракторных агрегатов и других факторов [8].

К технологическим факторам относятся ширина междурядий возделываемых культур, ширина движителей (гусеничных, колесных, одинарных и сдвоенных), ширина технологической колеи, колея мобильных энергетических средств, расстояние между опорными колесами сельскохозяйственных машин, сцепок. При возделывании культур, особенно пропашных, происходит многократный проход агрегатов по полю, поэтому величина твердости почвы в междурядьях будет различной даже на одном поле. На поворотных полосах почва подвергается многократным проходам машинно-тракторного агрегата, в результате практически на всей площади поворотной полосы пахотный слой будет характеризоваться высокой плотностью и твердостью. При механизированной уборке капусты, которая в виду особенностей культуры, как правило, происходит на переувлажненных участках, даже однократный проход агрегата создает условия для переуплотнения почвы.

Изменчивость продольной твердости, характеризуемая случайными и гармоническими составляющими, имеет разную структуру, различные коэффициенты затухания и логарифмический декремент. Анализ параметров колебаний указывает на то, что изменение сопротивления среды, то есть, твердости, значительно больше влечет на убывание амплитуд, чем на изменение периода колебаний.

График 1 (рисунок 1) выражает случайную функцию изменения продольной твердости почвы, в которой отсутствуют гармонические составляющие. Практически стабильно невысокая твердость характерна для пахотного слоя в почвенном канале.

Стабильно высокую твердость можно ожидать на поворотной полосе, вся площадь которой многократно покрыта следами движителей МТА. Кривая 2 тоже не содержит гармонические составляющие, но степень случайности выше. С увеличением длины

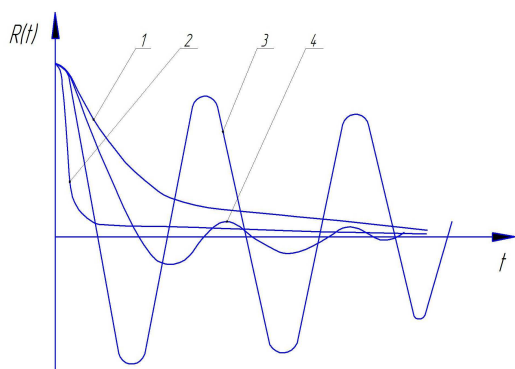


Рисунок 1 – Графики корреляционных функций изменчивости продольной твердости почвы: 1,2 – случайные функции с сильно выраженной изменчивостью; 3,4 – случайные функции с гармоническими составляющими

гона, снижается зависимость величины продольной твердости от пройденного пути. Значение корреляционной функции резко уменьшается. Такой характер изменения твердости можно ожидать в теплицах, парниках с высоким содержанием гумуса в почве, при минимальном воздействии движителей средств малой механизации. К ним можно отнести твердограммы полей, на которых культуры возделывались по технологии, базирующейся на технологической колее. График 3 выражает функцию процесса, в котором, наряду со случайными составляющими, имеются и гармонические, выраженные затухающими периодическими колебаниями корреляционной функции. Характерным примером является твердограмма поля из-под пропашных или овощных культур. Зависимость 4 описывает гармонический процесс с малой степенью случайности, то есть, процесс, близкий к гармоническому (синусоидальному). Характерный пример – твердость почвы на поле после вспашки стерни. Аналогичную картину можно ожидать при изучении твердости почвы после обработки поля зубчатыми дисковыми рабочими органами. На этих полях путевая частота изменения твердости и плотности совпадает или близка с междисковым расстоянием в батарее. Такие процессы относятся к случайным узкополосным процессам.

Непрерывное изменение твердости приведет к перепаду тягового сопротивления. От того, как часто встречаются на поле переуплотненные полосы почвы, от размаха колебаний величины твердости почвы на этих полосах, с какой скоростью лезвие лемеха или долото рыхлящего рабочего органа вступает на эту полосу и преодолевает ее, зависят в конечном случае показатели качества

рыхления и затрат энергии на этот процесс.

Рабочие органы большинства почвообрабатывающих орудий имеют жесткую конструкцию и жестко закреплены на раме орудия, имеют одну степень свободы. Кратковременное увеличение тягового сопротивления, вызванное повышением твердости почвы, может непосредственно отразиться на буксовании движителей и уплотнении почвы. Необходимо разработать рабочие органы, обеспечивающие меньшую общую интенсивность воздействия на почву и экономию топлива [9]. По нашему мнению, рабочие органы на упругих стойках, имеющие две степени свободы, можно отнести к конструктивным мерам по снижению перегрузок. Это может быть достигнуто с установкой черенковых ножей на опорах с возможностью отклонения их от продольно-вертикальной плоскости [12]. Формированию воздействия на пласт одновременно в различных направлениях [10] призван подпокровный рыхлитель с кротователем, имеющий четыре степени свободы, обеспечивающий плавное нарастание тягового сопротивления.

Рабочий орган щелевателя – кротователя, включающий в себя черенковый нож со встроенным дренажом, пружинный кротователь в виде конической пружины сложной формы на подпружиненной тяге, имеет пять степеней свободы (рисунок 4) [11]. Процесс вступления в работу витков кротователя растянут во времени. Кротователь, его витки непрерывно приспособляются к изменяющимся условиям пахотного слоя, происходит изменение величины углов резания, крошения и атаки, коэффициента трения. Рыхление почвы производится преимущественно сдвигом, реализуется эффект Баушингера в перпендикулярных направлениях [10]. Отдельные витки и центр масс кротователя могут совершать колебательные движения. Реакция почвы зависит от характеристики рабочего органа как динамической системы,

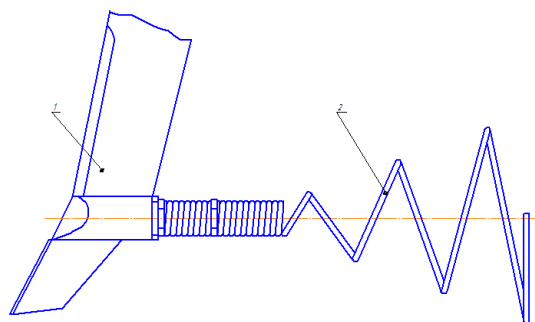


Рисунок 2 – Схема рабочего органа:  
1 - чизельный нож со встроенным дренажом;  
2 - пружинный кротователь

от амплитуды и частоты возмущения. В качестве источников возмущения мы рассматриваем изменчивость продольной твердости почвы, а именно ширину полос с существенной высокой твердостью, разницу в величине твердости чередующихся уплотненных полос, скорость движения пружинного кротователя в целом и его отдельных конструктивных элементов – витков. При одновременном сочетании этих воздействий вклад каждого из них в общий уровень вибрации неодинаков и определяется во многом изменчивостью почвенных условий.

Таким образом, возмущения на рыхлитель формируются источниками силового и кинематического воздействия. Силовое воздействие является следствием взаимодействия кротователя с почвой непостоянной плотности и твердости. Нелинейность упругой характеристики пружинного конического рыхлителя существенным образом влияет на вибронгруженность рабочего органа при разных скоростях поступательного движения орудия.

Кинематическое возмущение является главным воздействием на упругую систему рабочего органа. К основным факторам, которые оказывают влияние на формирование этого возмущения и определяют интенсивность и спектр частот воздействия, относятся виброреологические свойства почвы, скорость движения рабочего органа и упругая характеристика пружинного кротователя.

При проектировании рабочих органов и составлении МГА подлежат уточнению требования к ним с позиции изменчивости твердости пахотного слоя. Прочностные расчеты следует вести методами теории случайных колебаний.

Обсуждение результатов. Задача отыскания вероятностных характеристик состояния упругой системы почвообрабатывающих рабочих органов – механизмов по заданным характеристикам внешнего воздействия, успешно может быть решена при наличии твердограмм пахотного слоя полей. Так как внешнее воздействие – изменчивость продольной твердости будет задано вероятностным распределением, то ставится задача о нахождении вероятностных характеристик вектора состояния – упругой характеристики рабочего органа. При известных математических ожиданиях и корреляционных функциях твердости почвы ставится задача об отыскании аналогичных характеристик вектора состояния. Таким образом, по характеристикам продольной

твердости почвы будут сформулированы требования к рабочему органу, в частности, пружинному кротователю.

Установление приемлемых характеристик внешних воздействий на упругую систему рабочего органа по ее известным вероятностным характеристикам выходных параметров может существенно осложниться при задании неполной информации относительно вибрационного поля. Актуализации такой информации призвана база данных об удельном сопротивлении почв, о твердости, не исключая случайные помехи.

Примером последнего, на наш взгляд, является вероятность прохождения рабочим органом почвообрабатывающего орудия на обрабатываемом поле мест с не оттаявшей почвой из-под кучи соломы.

Нам представляется, что наиболее важным при проектировании рабочих органов с широкими пределами самоприспособления к изменяющимся условиям функционирования является задача идентификации – определения параметров системы по известным характеристикам на входе и выходе. Решение этой задачи позволяет сформулировать общие и специальные требования к рабочим органам – механизмам для обработки почвы.

На основе модели функционирования РОМ через оператор модели  $A$  (рисунок 3) на основе связей между входными и выходными переменными можно провести анализ, синтез и оптимизацию параметров РОМ и его технологического процесса. На входе объекта действуют векторные функции условий функционирования и управления. Выходными переменными будут также векторные функции, определяющие агротехнические, энергетические, технико-экономические и другие показатели работы.

В нашем случае входные воздействия будут представлены сопротивлением почвы  $R(t)$  и продольной твердостью  $Z(t)$ , выходные

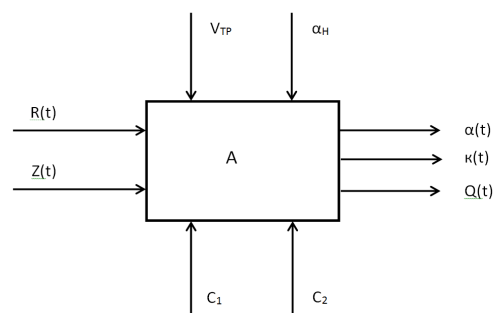


Рисунок 3 – Динамическая модель функционирования самоприспособляющегося почвообрабатывающего рабочего органа – механизма (РОМ)

переменные - глубиной рыхления  $a(t)$ , тяговым сопротивлением  $Q(t)$ , полнотой заполнения дрены разрыхленной почвой  $k(t)$ . Режим работы обусловлен скоростью движения трактора  $V_T$ , настройкой жесткости  $C_1$  пружины в тяговой опоре и пружины  $C_2$  кротователя, настройкой глубины обработки  $a_H$ .

Считаем, что на основании измерений и надлежащей статистической обработки вибрационного поля можно сделать заключение о техническом состоянии системы. Например, по надежности процесса самоочистки витков от нароста почвы можно судит об обоснованном подборе жесткости витков пружины кротователя, оценить вероятность и интенсивность ударного импульса тяги кротователя по черенковому ножу.

На следующем этапе решения проектных задач производится синтез систем, обладающих заданными свойствами по отношению к некоторому спектру внешних воздействий. Речь идет об обосновании чувствительности динамической системы, ее упругой характеристики при проектировании рабочего органа кротователя. Также формулируются требования к конструкции рабочего органа, к количеству степеней свободы, методы по обоснованию оптимальной структуры и оптимальных параметров систем защиты при случайных воздействиях.

В результате анализа нами установлено, что комбинированный почвообрабатывающий рабочий орган, кроме черенкового ножа с встроенным дреном и пружины – кротователя, должен содержать пружину 3 нелинейной жесткости в тяговой опоре 2 (рисунок 4).

Задача подбора пружины в опоре и требуемой характеристики системы пружин в целом, упругая характеристика кротователя 4 должна быть функционально обоснована изменчивостью твердограмм. В случае применения в тяговой опоре пружины потребной жесткости  $C_1$  формируется система массой  $m$ , собственной частотой

$$\omega_0 = \left\{ m \left[ \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} \right] \right\}^{-0.5}$$

Здесь  $C_2$  – жесткость витка конической пружины.

Так как часть возмущений неизбежно будет гаситься в почве в виду ее диссипативных свойств, не все изменения твердости почвы будут отражаться в поведении рабочего органа. Поэтому следующим шагом при проектировании

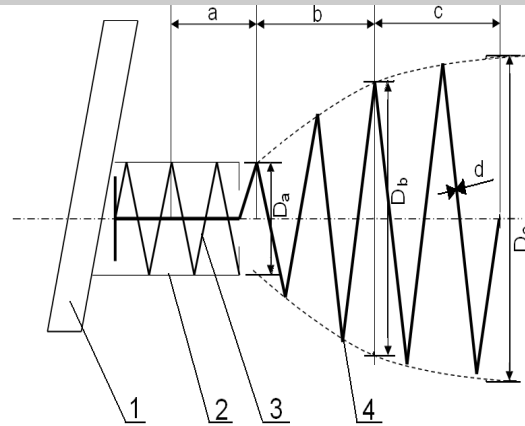


Рисунок 4- Схема подпокрывного рыхлителя  
 a – начальный участок диаметром витков  $D_a$ , b – конический участок с диаметром наибольшего витка  $D_b$ , c - завершающий участок диаметром  $D_c$ , d – диаметр пружинной проволоки

упругого рабочего органа является обоснование сглаживающей возможности проектируемой динамической системы. По сути, речь идет об обосновании конструкционных параметров, обоснованном выборе материала, методике прочностного расчета с учетом знакопеременного характера нагрузки.

Для определения характера возмущающего воздействия, кроме математического ожидания, должны быть установлены корреляционная функция и спектральная плотность. Аппроксимация графика корреляционной функции позволит определить коэффициенты корреляционной связи, учесть физико-механические свойства почвы, скорость движения агрегата. К ним относятся коэффициенты  $\alpha$  - интенсивности затухания корреляционной функции,  $\beta$  – средней частоту составляющих случайного процесса.

Аппроксимацию корреляционных функций представим выражением:

$$R_x(\tau) = D_x e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau$$

Используя преобразования Лапласа, перейдем к спектральной плотности:

$$S_Y(\omega) = \frac{2D_Y^2}{\pi} \frac{\omega^2 + \alpha^2 + \beta^2}{(\omega^2 - \alpha^2 - \beta^2) + 4\alpha^2\omega^2}$$

Численные значения коэффициентов для трех почвенных фонов, установленных для трех скоростей движения, приведены в [6]:  $\alpha=0,230...0,320$ ,  $\beta= 2,282...0,320$ . Анализ ширины спектра частот подтверждает, что во всех случаях имеют место широкополосные процессы: размах колебаний изменчивости

продольной твердости большой.

Располагая корреляционной функцией и спектральной плотностью изменчивости продольной твердости, представленных в функции протяженности или во времени, через косинус – преобразования Фурье можно перейти к аналогичным показателям силовых и кинематических возмущений.

Для описания кинематического возмущения от изменчивости твердости почвы, представляющего собой случайный вибросигнал, следует от функций времени перейти к функциям протяженности. В корреляционной функции изменчивости твердости производится замена переменных  $\tau=l/v$ . Здесь  $v$  – скорость движения датчика твердомера,  $l$  – интервал корреляции по протяженности вдоль одного прохода (гона). Также подлежит замене аргумент круговой частоты  $\omega$  на аргумент спектральной плотности  $\omega:\omega=\omega v$ . При скорости, равной 1м/с, имеют место  $l = \tau$  и  $\omega = \omega$ .

Тогда соотношение между спектральными плотностями изменчивости твердости почвы и возмущения – реакции на рабочий орган представится выражением:  $vS_Y(\omega) = S_Y(\tau)$ .

**Выводы.** Разработка комбинированных рабочих органов – механизмов, автоматически приспособляющихся к изменяющимся почвенным условиям, технологическому и скоростному режимам обработки является актуальным направлением развития почвообрабатывающих рабочих органов.

Установление характера зависимости процесса обработки от названных факторов является актуальной научной задачей.

Изменчивость продольной твердости почвы предъявляет дополнительные требования к конструкции почвообрабатывающих рабочих органов, они должны иметь больше степеней свободы для непрерывного приспособления к изменяющимся условиям пахотного слоя.

#### Литература

1. Медведев, А.А. Твердость почв / А.А. Медведев. – Харьков: Изд-во «Городская типография». 2009. - 152 с.
2. Давидсон, Е.И. Отслеживание неравномерности плотности почвы / Е.И. Давидсон //Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2007. - №4. - С.41.
3. Шакиров, Р.Р. Повышение эффективности функционирования машинно-тракторного агрегата за счет совершенствования регулирования топливopодачи двигателя: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Саранск, - 2011.- 17 с.
4. Валиев, А.Р. Комбинированное почвообрабатывающее орудие / А.Р. Валиев, П.И. Макаров, Ф.Ш. Тимерханов, Р.Х. Марданов // Земледелие. – 2004. – № 2. – С 42-43.
5. 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. –Пенза, 2007. – 20 с.
6. 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.
7. Кушнарeв, А. Мониторинг плотности почвы пахотного горизонта в системе точного (управляемого) земледелия / А.Кушнарeв, В.Кравчук, С.Кушнарeв, В. Дюжаев //Техніка и технології в АПК. - 2010. - №9(12).- С. 12-16.
8. Кутыков, Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства: учебник / Г.М. Кутыков. – М.: КолосС, 2004.-498 с.
9. Лурье, А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов/ А.Б. Лурье. – Л.: Колос, 1970. – 376 с.
10. Гуреев, И.И. Экологическая эффективность комплекса почвообрабатывающих машин для механизации перспективных агротехнологий / И.И. Гуреев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии.-2015.-№4.-С.71-73.
11. Казаков, Ю.Ф. Результаты исследования пружинного кротователя /Ю.Ф. Казаков, В.В. Белов, А.В. Максимов // СПб.: Известия Международной академии аграрного образования. – 2016.- №27. - С.15-19.
12. Пат. № 2544622 (РФ) МПК А01В 13/16, А01В 13/08, А01В15/00, Е02В 11/02. Подповерхностный рыхлитель почвы / А.Г. Васильев, Ю.Ф. Казаков, А.В. Максимов.- №2014109204; заяв.11.03.2014; опубл. 20.03.15. Бюл.8.
13. Jeffery J. C. The Development of the McConnell Till aerator Design. 1984. J. of Agricultural Engineering Research 29(3) : 257–263.
14. 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

#### 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: mvi1928@mail.ru  
 ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Россия  
 Терентьев Алексей Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор  
 Павлов Владимир Степанович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: pvcotlikovo@mail.ru  
 Смирнов Анатолий Германович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: stts@lenta.ru  
 Акимов Александр Петрович – доктор технических наук, профессор, e-mail: akimov\_mechfak@mail.ru  
 ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», г. Чебоксары, Россия.

TO THE DEVELOPMENT OF SOIL TILLAGE WORKING UNITS ON THE BASIS OF FIELDS SOLIDGRAMS

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

**Abstract.** When solving engineering problems in soil cultivation, soil resistivity is applied. The use of solidograms is more preferable in the construction of soil-working tools and the operation of agricultural machinery. The developed technologies and instruments for continuous layerwise determination of the longitudinal hardness of the arable layer make it possible to obtain soil maps by hardness, to create a database. Factors affecting hardness variability include crop cultivation technology, row spacing, parameters, number and gauge of movers of mobile power tools and agricultural tools, the width of the technological track. The influence of the degrees of freedom of the working units on the intensity of loosening of the soil, the magnitude and nature of the change in the traction resistance, both as a separate working unit and the entire implement, is considered. A combined working unit consisting of a cutaway knife, a built-in drainer, a spring bender on a spring-loaded draft, which creates conditions for the realization of low-intensity types of deformation, the Baushinger effect is proposed. The advantage of the working unit is the continuous automatic adaptation of geometric parameters. For design and strength calculation of such working units, synthesis of elastic characteristics, it is recommended to use methods of the theory of random oscillations. The force and kinematic perturbation of the oscillations is caused by the variability of the hardness of the arable layer, the speed of movement of the working organ, the vibrorheological properties of the soil, and the parameters of the elastic characteristics of the system of springs. The rationale for the smoothing capability of the dynamical system being designed is substantiated by justifying rational design parameters, selecting the material, determining the system parameters by known characteristics at the input and output.

**Key words:** hardness of soils, solidgram, power and kinematic disturbance, combined soil-working unit, degree of freedom of the working unit, method of the theory of random oscillations

References

1. Medvedev A.A. *Tverdost pochv.* [Soil hardness]. / A.A. Medvedev. Kharkov: Izd-vo "Gorodskaya tipografiya". 2009. P. - 152.
2. 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.
3. Shakirov R.R. *Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya mashinno-traktornogo agregata za schet sovershenstvovaniya regulirovaniya toplivopodachi dvigatelya: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. 05.20.01* (Increase of efficiency of functioning of the machine-tractor unit due to perfection of regulation of fuel supply of the engine: the author's abstract. Dissertation for a degree of Ph.D. of Technical Sciences: 05.20.01). Saransk, - 2011. - P. 17.
4. Valiyev, A.R. The combined soil-cultivating tool [Kombinirovannoe pochvoobrabatyvayushchee orudie ] / A.R. Valiyev, P.I. Makarov, F.Sh. Timerkhanov, R.H Mardanov//Agriculture. [Zemledelie]– 2004. – No. 2. – From 42-43.
5. 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. 20.
6. Ovsyannikov S.I. *Issledovanie tverdosti 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.
7. 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.
8. Kutkov G.M. *Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskie svoystva: uchebnik.* [Tractors and cars. Theory and technological properties: a textbook]. / G.M. Kutkov // M.: KolosS, 2004. – P. 498.
9. Lure A.B. *Statisticheskaya dinamika selskokhozyaystvennykh agregatov.* [Statistical dynamics of agricultural aggregates]. / A.B. Lur'ye // L.: Kolos, 1970. – P. 376.
10. Gureev I.I. Ecological efficiency of a soil-cultivating machines complex for mechanization of promising agricultural technologies. [Ekologicheskaya effektivnost kompleksa pochvoobrabatyvayushchikh mashin dlya mekhanizatsii perspektivnykh agrotekhnologii]. / I.I. Gureyev // *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. – The herald of Kursk State Agricultural Academy.* 2015. - №4. - P. 71-73.
11. Kazakov Yu.F. The results of the investigation of the spring bender. [Rezultaty issledovaniya pruzhinno 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.
12. *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.
13. Jeffery J. C. The Development of the McConnell Till aerator Design. 1984. *J. of Agricultural Engineering Research* 29(3) : 257–263.
14. 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

Authors:

Kazakov Yuriy Fedorovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: ura.kazakov@mail.ru  
 Medvedev Vladimir Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: mvi1928@mail.ru  
 Terentev Aleksey Grigorevich – Doctor of Physics and Mathematics, Professor  
 Pavlov Vladimir Stepanovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: pvcotlikovo@mail.ru  
 Smirnov Anatolii Germanovich – Ph.D. of Technical sciences, Associate Professor, e-mail: stts@lenta.ru  
 Akimov Aleksander Petrovich – Doctor of Technical sciences, Professor, e-mail: akimov\_mechfak@mail.ru  
 Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, Russia