

ТРАНСФОРМИРУЕМЫЕ РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ДЛЯ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

TRANSFORMABLE WORKING BODIES FOR NONMOLDBOARD CULTIVATION OF SOIL

Г.Г. ПАРХОМЕНКО, к.т.н.

Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Зерноград,
Россия, parkhomenko.galya@yandex.ru

G.G. PARHOMENKO, PhD in Engineering

North Caucasus Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Agrarian Scientific Center
«Donskoy», Zernograd, Russia, parkhomenko.galya@yandex.ru

Для выполнения технологических операций в различных почвенно-климатических условиях разрабатываемые конструкции почвообрабатывающих орудий должны быть основаны на принципах трансформации, осуществляемой за счет блочно-модульного построения и комплектования их различными рабочими органами с использованием научно-обоснованной комбинации сменных элементов. Цель исследования – совершенствование технологического процесса безотвальной обработки почвы и разработка новых трансформируемых рабочих органов для его осуществления. Основу предлагаемого нового трансформируемого рабочего органа для глубокой безотвальной обработки почвы составляет чизель в виде изогнутой в продольном направлении стойки с приваренным к ней долотом. При принудительном фиксировании лап под углом 90° относительно стойки в поперечно-вертикальной плоскости рабочий орган представляет собой плоскорез, при демонтаже лап – чизель, при шарнирном креплении лап трансформируется в чизельный с самоустанавливающимися в поперечно-вертикальной плоскости под углом естественного скола почвы лапами. Крошение пласта новыми трансформируемыми рабочими органами для безотвальной обработки почвы с шарнирно закрепленными лапами осуществляется по пути наименьшего сопротивления за счет самоустановки под углом естественного скола почвы. Наблюдается снижение тягового сопротивления на 9,09 % новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы с шарнирно закрепленными лапами. Использование шарнирно закрепленных лап оказывает положительное влияние на динамические характеристики орудия, так как в широком диапазоне спектра колебаний сравнительно низкого уровня отсутствуют пиковые значения амплитуд, поэтому резонансные явления маловероятны. По характеру протекания корреляционной функции установлен колебательный процесс функционирования новых трансформируемых рабочих органов с шарнирно установленными лапами, который характеризуется появлением гармонической составляющей колебательного процесса подвижных элементов рабочего органа. Для обеспечения управления требуемыми параметрами колебательного движения необходимо оснащение конструкции упругим элементом с регулированием его жесткости. Новые трансформируемые рабочие органы для безотвальной обработки почвы не уступают по агротехническим показателям современным техническим средствам.

Ключевые слова: почва, плоскорез, чизель, рабочие органы.

To perform technological operations in various soil and climatic conditions the developed designs of tillage tools should be based on the principles of transformation carried out by block-modular construction and compilation them with various working bodies using a scientifically based combination of inter-changeable elements. Objective: to improve the technological process of nonmoldboard cultivation of soil and the development of new transformable working bodies for its implementation. The basis of the proposed new transformable working body for nonmoldboard cultivation of soil is chisel in the form of a rack curved in the longitudinal direction with a chisel welded to it. Forcibly fixing the paws at an angle of 90° relative to the rack in the transverse vertical plane, the working body is a plane cutter, when dismantling the paws it is a chisel, when the paws are hinged, it is transformed into the chisel with the paws self-installing in the transverse vertical plane at an angle of natural cleavage of the soil. The crushing of the formation by new transforming working bodies for moldless soil tillage with articulated paws is carried out along the path of least resistance due to self-installation at an angle of natural soil cleavage. A decrease in traction resistance by 9,09 % of new transformable working bodies for subsurface tillage with articulated paws is observed. The use of articulated paws has a positive effect on the dynamic characteristics of the tool since there are no peak amplitudes in the broadband spectrum of oscillations of a relatively low level, so resonance phenomena are unlikely. According to the nature of the flow of the correlation function, the oscillatory process of the functioning of new transformable working bodies with articulated legs is established, which is characterized by the appearance of a harmonic component of the oscillatory process of the moving elements of the working body. To ensure control of the required parameters of the oscillatory motion, it is necessary to equip the structure with an elastic element, adjusting its rigidity. New transformable working bodies for nonmoldboard cultivation of soil are not inferior in terms of agrotechnical indicators to modern technical means.

Keywords: soil, subsurface cultivator, chisel, working bodies.

Введение

Для выполнения технологических операций в различных почвенно-климатических условиях, в том числе недостаточного и неустойчивого увлажнения южных регионов России, разрабатываемые конструкции почвообрабатывающих орудий должны быть основаны на принципах трансформации, осуществляемой за счет блочно-модульного построения и комплектования их различными рабочими органами с использованием научно-обоснованной комбинации сменных элементов.

При этом разрабатываемые рабочие органы должны обеспечивать экологическую безопасность природной среды от возможного негативного техногенного и антропогенного воздействия, а также рациональное использование почвы. Важнейшей задачей рационального использования почвы является обеспечение воспроизводства плодородия, одним из условий которого является накопление гумуса, уменьшающееся в связи с нарастающим переуплотнением пласта [1–3].

Переуплотнение почвы приводит к ускоренной аридности пахотного слоя в весенний период, что недопустимо в условиях недостаточного увлажнения.

Одним из способов снижения переуплотнения пласта является безотвальная обработка почвы чизелем, оказывающим экологически безопасное воздействие на почву [4–6].

Цель исследования

Совершенствование технологического процесса безотвальной обработки почвы и разработка новых трансформируемых рабочих органов для его осуществления.

Материалы и методы

Основу предлагаемого нового трансформируемого рабочего органа для глубокой безотвальной обработки почвы (рис. 1) составляет чизель в виде изогнутой в продольном направлении стойки с приваренным к ней долотом 1. В качестве демонтируемых элементов в конструкции содержатся закрепленные шарниром 4 плоскорезные лапы 2, угол установки которых в поперечно-вертикальной плоскости относительно стойки с долотом 1 определяется действием сил сопротивления почвы, а крошение пласта осуществляется разнонаправленными деформациями за счет знакопеременного перемещения подвижных элементов (лап).

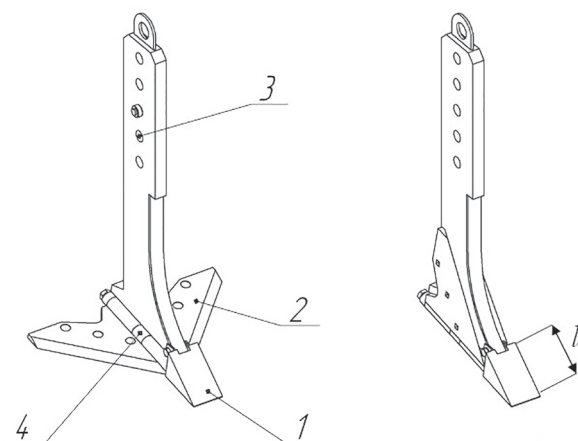


Рис. 1. Новые трансформируемые рабочие органы для безотвальной обработки почвы:

- 1 – долото; 2 – плоскорезные лапы; 3 – отверстие для изменения глубины обработки почвы; 4 – шарнир для перемещения лап в поперечно-вертикальной плоскости

При принудительном фиксировании лап под углом 90° относительно стойки в поперечно-вертикальной плоскости рабочий орган представляет собой плоскорез, при демонтаже лап – чизель. При шарнирном креплении лап рабочий орган при взаимодействии с обрабатываемым пластом почвы трансформируется в чизельный с самоустанавливающимися в поперечно-вертикальной плоскости под углом естественного скола почвы лапами.

Результаты исследований и их анализ

Процесс трансформации рабочих органов для безотвальной обработки почвы можно разделить на 3 фазы, характеризующие положение лап относительно стойки при взаимодействии с пластом при его крошении.

В фазе I рабочий орган представляет собой плоскореза, в фазе II наблюдается переходный процесс, в фазе III рабочий орган трансформируется в чизельный с самоустанавливающимися в поперечно-вертикальной плоскости под углом естественного скола почвы лапами (рис. 2).

Причем фаза I наблюдается только при предварительном принудительном фиксировании лап в положении плоскореза, которое под действием сил сопротивления почвы может быть нарушено и дальнейшему их перемещению по пути наименьшего сопротивления обрабатываемой среде.

При этом величина угла скола почвы в поперечно-вертикальной плоскости устанавливается такой, при которой усилие резания минимально.

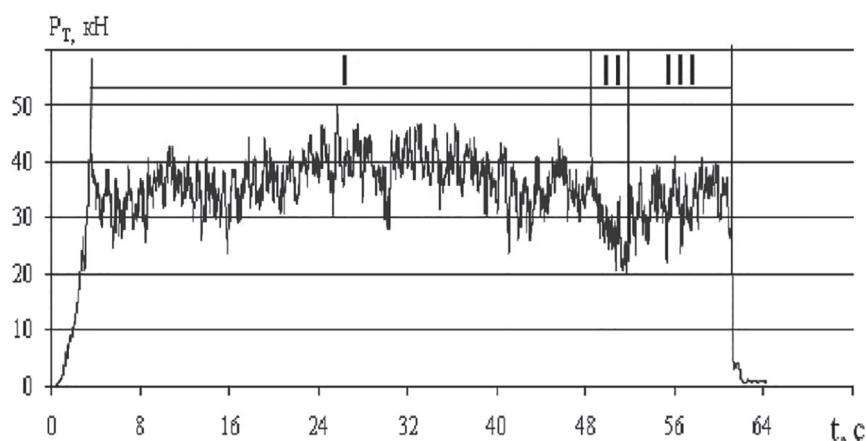


Рис. 2. Реализация процесса изменения тягового сопротивления при трансформации рабочих органов для безотвальной обработки почвы:
I – плоскорез; II – переходный процесс; III – самоустанавливающиеся лапы

Фазу II переходного процесса можно выявить визуально как нестационарный неустановившийся процесс.

Анализ многих процессов показывает, что изменение условий функционирования рабочих органов сказывается в основном на средних значениях реализации (уровне процесса) и в значительно меньшей степени на характере случайных колебаний около среднего значения.

Известно, что такие нестационарные процессы могут быть выявлены визуально по виду реализаций. Так, на графике $P_T(t)$ фаза II характеризуется ступенчатым уменьшением тягового сопротивления. Фазы I и III, напротив, можно считать стационарными процессами, с достаточно стабильными значениями тягового сопротивления (в среднем 37,07 и 33,72 кН, соответственно).

Крошение пласта новыми трансформируемыми рабочими органами для безотвальной обработки почвы с шарнирно закрепленными лапами осуществляется по пути наименьшего сопротивления за счет самоустановки под углом естественного скола почвы.

Это подтверждается снижением тягового сопротивления (на 9,09 %) новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы с шарнирно закрепленными лапами (табл. 1) по сравнению с плоскорезными при одинаковых режимах работы. В таблице 1 представлены значения тягового сопротивления для орудия, состоящего из 7 рабочих органов.

Это подтверждается теоретически полученной закономерностью изменения тягового сопротивления новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы с шарнирно закрепленными лапами:

$$P_T = f \cdot G + (k + \varepsilon v^2) \cdot [(n-1)M + b] \cdot a - (n-1) \times \left[\frac{(M-b)^2}{4} \operatorname{ctg} \frac{\omega}{2} + (M-b) \cdot l' \cdot \sin \beta \right], \quad (1)$$

где P_T – тяговое сопротивление, кН; f, k, ε – коэффициенты; v – скорость, м/с; G – вес, кН; n – число рабочих органов; M – расстояние между рабочими органами, м; b – ширина долота, м; a – глубина рыхления пласта, м; ω – угол

Таблица 1

Результаты экспериментального исследования тягового сопротивления новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы

Наименование показателя	Значение для варианта рабочего органа	
	Шарнирно закрепленные лапы	Плоскорез
Режимы работы: скорость, км/ч глубина, см	6,10 27	6,10 27
Тяговое сопротивление, кН	33,72±3,2	37,07±3,8
Снижение тягового сопротивления, %	9,09	–

раствора рабочего органа, град. (рис. 3); β – угол крошения (входа в почву долота), град.; l – длина долота, м (рис. 1).

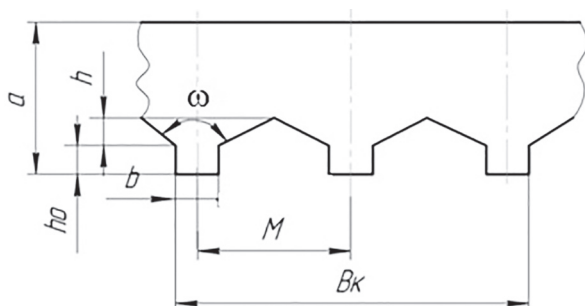


Рис. 3. Схема поперечного сечения пласта при работе новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы с шарнирно закрепленными лапами:

h_0 – длина выступающей части долота (относительно лап); B_k – конструктивная ширина захвата; h – высота гребня на дне борозды, определяемая конструктивными параметрами плоскорезных лап

Из сравнения с аналогичной закономерностью (2) для плоскореза следует, что снижение тягового сопротивления новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы с шарнирно закрепленными лапами наблюдается в связи с уменьшением обрабатываемой площади поперечного сечения пласта:

$$P_r(\text{плоскорез}) = f \cdot G + (k + \epsilon v^2) \cdot [(n-1)M + b] \cdot a. \quad (2)$$

Результаты расчета представлены в табл. 2.

Сравнительный анализ данных табл. 2 позволяет установить относительную погрешность не более 1,5 %, что свидетельствует об адекватности результатов теоретических исследований реальному процессу.

Анализ виброускорений различных вариантов рабочего органа показывает, что при плоскорезе для диапазона изменения частоты 0–20 с⁻¹, являющегося существенным для рассматриваемой динамической системы, уровень спектральной

плотности процесса функционирования новых рабочих органов убывает до 8 с⁻¹, а далее остается постоянным («белый шум»). При этом на частоте около 2 с⁻¹ возможен резонанс при совпадении пикового max спектральной плотности с амплитудой низкочастотных колебаний обрабатываемой среды (рис. 4, кривая 1).

Нежелательные мезоколебания орудия низкой частоты (2–8 с⁻¹) можно устранить за счет изменения кинетической энергии движущихся масс, например, путем обеспечения дополнительной степени свободы рабочему органу (использовать шарнирно закрепленные лапы вместо плоскореза).

При варианте с шарнирно закрепленными лапами (рис. 4, кривая 2) график убывает постепенно до 18 с⁻¹ с отсутствием пиковых амплитуд, отражает тонкую структуру спектральной плотности, раскрывающую физику процесса гармонической составляющей, причиной возникновения которой являются колебания подвижных элементов рабочего органа в почве при взаимодействии с обрабатываемым пластом почвы.

Поскольку каждый максимум в спектре колебаний соответствует, по меньшей мере одной степени свободы, на основании вышеизложенного можно заключить, что новый трансформируемый рабочий орган, осуществляющий переносное и относительное движения (две степени свободы) при варианте с шарнирно закрепленными лапами, оказывает положительное влияние на динамические характеристики орудия, так как в широкополосном спектре колебаний сравнительно низкого уровня отсутствуют пиковые значения амплитуд, поэтому резонансные явления маловероятны.

Во время эксперимента переходный процесс при трансформации рабочего органа выявляется визуально по виду реализации и характеризуется ступенчатым уменьшением тягового сопротивления новых рабочих органов с шарнирно закрепленными лапами (рис. 1).

Таблица 2

Результаты исследований тягового сопротивления новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы

Вариант рабочего органа	Тяговое сопротивление, кН	
	Теоретическое	Экспериментальное
Плоскорез	37,05	37,07
Шарнирно закрепленные лапы	33,26	33,72

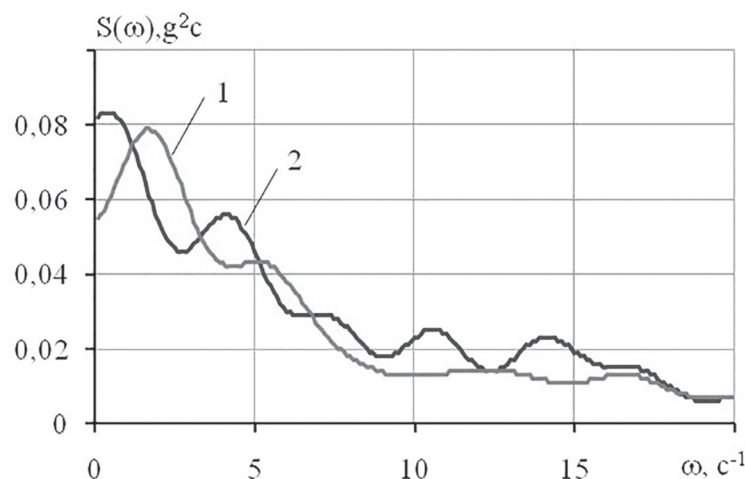


Рис. 4. Спектральная плотность реализации процесса изменения вертикальных виброускорений новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы:

1 – плоскорез; 2 – шарнирно закрепленные лапы

На графике корреляционной функции (рис. 5, а) отделить фазы переходного процесса и самоустанавливающихся лап не представляется возможным, поскольку обе характеризуются возникновением волны колебательного процесса подвижных элементов рабочего органа.

По характеру протекания корреляционной функции реализации процесса изменения виброускорений в вертикальном направлении можно выявить фазу плоскореза при трансформации новых рабочих органов (рис. 5, а), которая отличается отсутствием гармонической составляющей, свидетельствующей о колебательном движении лап в почве.

Процесс функционирования новых рабочих органов с шарнирно закрепленными лапами характеризуется появлением гармонической составляющей колебательного процесса подвижных элементов рабочего органа, которая обусловлена наличием микротрещин, пустот и неоднородностей (концентраторов напряжений) внутри обрабатываемого пласта.

Характер колебаний шарнирно закрепленных лап определяется наличием пиковых значений виброускорений и может быть представлен закономерностями волнового распределения ударного воздействия рабочих органов на пласт при движении в почве.

Известно, что динамическое воздействие, воспринимаемое рабочим органом, можно представить в виде трех составляющих:

- упругое, направленное противоположно деформации обрабатываемого слоя почвы;
- инерционное, направленное противоположно виброускорению;

– диссипативное (вязкое), направленное противоположно скорости.

Это следует из анализа уравнений Лагранжа 2-го рода, которыми можно описать движение орудия с новыми рабочими органами как колебательной системы, представляющих совокупность:

- потенциальной энергии, определяемой суммой прогибов переднего и заднего брусков рамы;
- кинетической энергии (инерции), связанной с перемещениями масс почвы;
- рабочего органа и его подвижных элементов;
- диссипативной функции, учитывающей рассеивание энергии в системе (пласт почвы – рабочий орган). Поэтому влияющие на движение рабочего органа упругие, инерционные и диссипативные силы оказывают воздействие на режимы функционирования и в отдельных случаях приводят к повышенным энергозатратам.

В связи с этим необходимо управление, основанное на регулировании упругих, инерционных и диссипативных параметров или на выборе частоты и амплитуды колебательного (ударного) воздействия.

При рационально выбранной скорости рабочего органа и частоте колебаний его подвижных элементов внутри пласта можно достичь более существенного снижения тягового сопротивления чизеля, чем полученное при нерегулируемом воздействии (табл. 1). Поскольку знакопеременные перемещения (колебания) лап от неоднородностей пласта почвы,

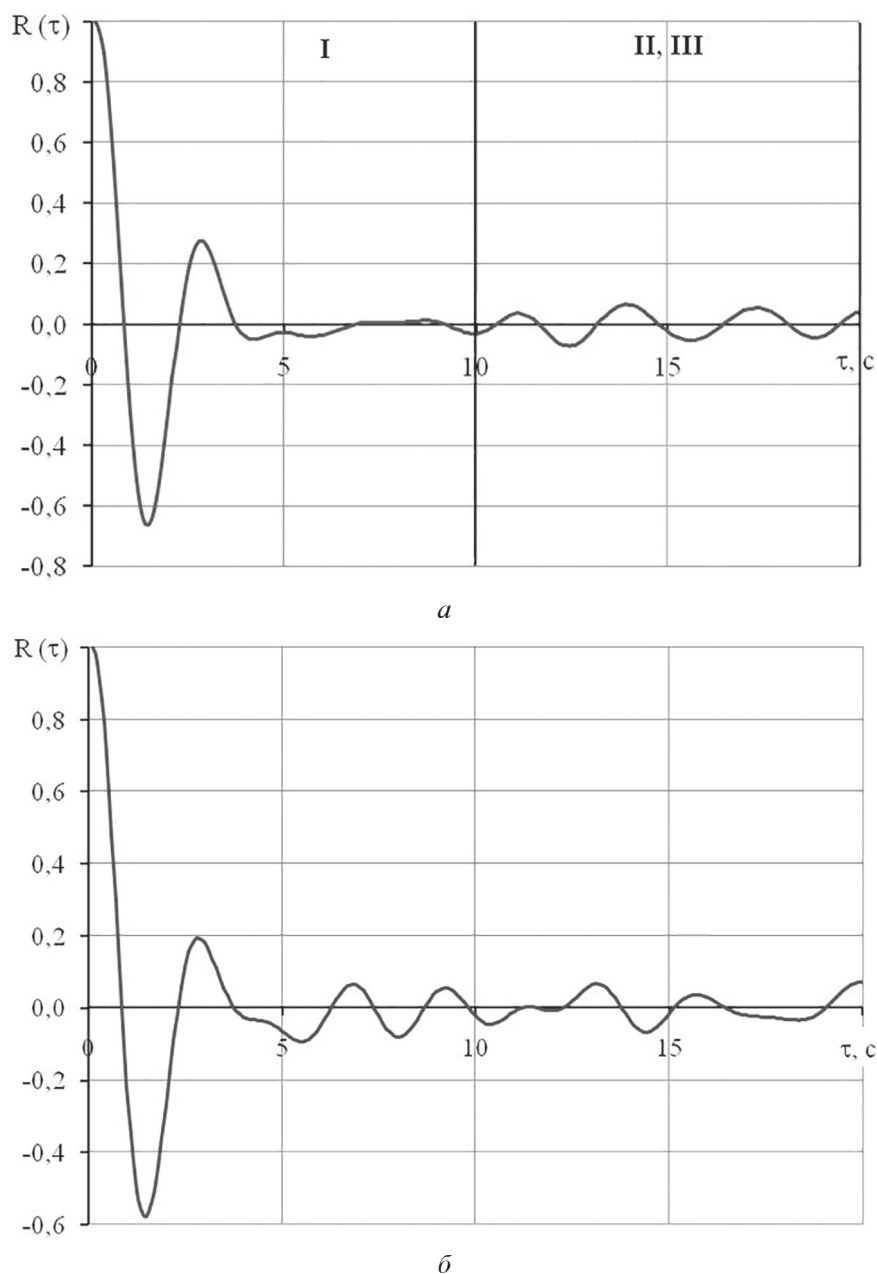


Рис. 5. Корреляционные функции реализации процесса изменения вертикальных виброускорений новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы:

а) трансформация рабочего органа; *б)* рабочий орган с незафиксированными лапами;

I – плоскорез; II – переходный процесс; III – самоустанавливающиеся лапы

локальных нарушений сплошности и др., то есть по направлениям наименьших связей (наименьшего сопротивления), не поддаются внешнему управлению, параметры колебаний определяются конструкцией рабочего органа с учетом свойств обрабатываемой среды.

Известно, что собственные колебания системы (пласт почвы – рабочий орган) вследствие наличия внутреннего и внешнего трения не могут быть стационарными (незатухающими). Для поддержания стационарности колебаний системе необходим источник поступле-

ния энергии. При этом поступление энергии должно осуществляться в таком количестве, которое способно расходоваться в системе. Поэтому система должна сама управлять поступлением энергии из источника, то есть являться автоколебательной.

Неоднородность обрабатываемой среды можно использовать для возбуждения автоколебаний при ударном воздействии новых трансформируемых рабочих органов на пласт почвы. Автоколебания могут возникать, как известно, в динамических системах (неоднородный

пласт – рабочий орган с подвижными элементами), в которых потребление энергии на преодоление диссипативных сил скомпенсировано потреблением энергии от неколебательного источника, регулируемое автоматически самой системой (самоустановкой лап во время движения рабочего органа). При этом в динамической системе (неоднородный пласт – рабочий орган) колебания возникают самостоятельно, а поддерживаются с помощью управления (внешнего воздействия) посредством специального устройства, в качестве которого может служить упругий элемент рабочего органа, преобразующий ударное воздействие внешней среды (пласт почвы) в колебательный процесс движения лап.

Шарнирное соединение лап со стойкой рабочего органа (рис. 1) не обладает достаточным запасом упругости для возбуждения колебательного процесса, оно лишь создает степень свободы для относительного движения лап при взаимодействии с пластом почвы, и знакопеременные перемещения осуществляются за счет неоднородностей обрабатываемой среды.

Поэтому для управления технологическим процессом, возможности выбора оптимальных режимов функционирования конструкция усовершенствованного рабочего органа помимо подвижных элементов должна содержать устройство (упругий элемент) для поддержания заданного характера колебаний.

Колебания рабочего органа с шарнирно закрепленными лапами в процессе перехода пласта почвы из упругого состояния в дискретное при функционировании новых рабочих органов подчиняются известному принципу наименьшей потенциальной энергии на поверхности скола и имеют направления по осям наименьших жесткостей (наименьшего сопротивления).

Поэтому на основании принципа минимальной потенциальной энергии создавать колебательное движение с требуемыми параметрами можно, регулируя жесткость упругого элемента (например, пружины) в конструкции рабочего органа с шарнирно закрепленными лапами.

Упругий элемент в конструкции новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы может использоваться также для регулирования угла установки лап в поперечно-вертикальной плоскости в случаях значительного отклонения

при встрече с препятствием (камень) и возвращать лапы в исходное положение под углом естественного скола почвы.

При наличии в системе колебательного звена характер переходного процесса (разгона) и динамических характеристик определяется степенью его демпфирования (коэффициентом затухания вынужденных колебаний). В качестве колебательного звена может выступать усовершенствованный рабочий орган с упругим элементом. Если колебательное звено не демпфировано (с шарнирно закрепленными лапами) или мало демпфировано (переходный процесс при трансформации), то в зоне частоты собственных колебаний рабочего органа возникает резонансное увеличение амплитуды вынужденных (волны напряжений пласта), что может привести к потере устойчивости. Увеличение демпфирования сдвигает собственную частоту в другую область, резонанса не возникает. Поэтому использование усовершенствованного рабочего органа с шарнирно закрепленными лапами и упругим элементом может положительно повлиять на устойчивость орудия в целом.

Таким образом, согласно принципу суперпозиции, колебания упругого (управляемого) и подвижных (самоустанавливающихся) элементов новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы позволят сильнее проявиться синергизму эффектов, приводящему к требуемому качеству при минимальных затратах.

При этом помимо энергетических (снижение тягового сопротивления) можно улучшить и качественные (агротехнические) показатели технологического процесса новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы (табл. 3).

В табл. 4 содержатся результаты испытаний [7] Северо-Кавказской, Кубанской, Владимирской, Центрально-Черноземной, Сибирской и Поволжской МИС за 2013–2015 гг. технических средств, соответствующих операции «чизелевание» технологического адаптера «обработка почвы».

Анализ показал, что новые трансформируемые рабочие органы для безотвальной обработки почвы не уступают по агротехническим показателям современным техническим средствам (табл. 4), соответствующим операции «чизелевание» технологического адаптера «обработка почвы».

Таблица 3

Агротехнические показатели новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы

Чизель	Шарнирно закрепленные лапы	Плоскорез
		
Глубина рыхления, см		
33,8	19,0–26,7	27,0
Рабочая скорость движения, км/ч		
6,21–6,67	6,67–8,57	6,10
Крошение пласта – содержание фракций менее 50 мм, %		
65	66	60
Сохранение стерни, %		
60–70	60–70	60–70
Гребнистость, см		
5,5	5,5	5,4
Разработчик: ФГБНУ «АНЦ «Донской», подразделение «СКНИИМЭСХ»		

Таблица 4

Реализация механизмов трансфера результатов научно-технической деятельности в сферу практического применения чизелевания

Марка чизеля	ПЧН-2,7	ПРБ-3	ПРБ-4В	ПЧН-4,0ЕК	ГЦ-4М	РН-4	ПЧ-4,5	ПЧ-4,5П	ПЧП-6,0
Разработчик	ОАО «Светлоградгормаш»	ОАО «Волгоградский механический завод»	ЗАО «ПК Ярославич»	ОАО «Светлоградгормаш»	ОАО «Грязинский культураторный завод»	ФГУП «Омский экспериментальный завод»	ЗАО «Рубцовский завод запасных частей»	ООО «БДМ-Агро»	ОАО «Светлоградгормаш»
Рабочая скорость движения, км/ч	8,3	8,20	7,0	10,6	5,95	6,9	9,4	8,5	9,25
Глубина обработки, см	37,4	43,3	30,7	35,0	31,3	29,0	42,1	24,0	38,5
Крошение пласта, %	нет данных	нет данных	нет данных	нет данных	86,0	70,6	69,2	нет данных	нет данных
Сохранение стерни, %	нет данных	70,2	нет данных	76,2	нет данных	нет данных	68,0	нет данных	74,5
Гребнистость, см	2,7	3,2	2,8	1,7	Нет данных	4,7	3,1	8,0	3,8
МИС	Владимирская	Сев.-Кавказская	Владимирская	Кубанская	Ц.-Черноземная	Сибирская	Поволжская	Сибирская	Сев.-Кавказская

Заключение

Основу предлагаемого нового трансформируемого рабочего органа для глубокой безотвальной обработки почвы составляет чизель в виде изогнутой в продольном направлении

стойки с приваренным к ней долотом. При принудительном фиксировании лап под углом 90° относительно стойки в поперечно-вертикальной плоскости рабочий орган представляет собой плоскорез, при демонтаже лап – чизель,

при шарнирном креплении лап трансформируется в чизельный с самоустанавливающимися в поперечно-вертикальной плоскости под углом естественного скола почвы лапами. Крошение пласта новыми трансформируемыми рабочими органами для безотвальной обработки почвы с шарнирно закрепленными лапами осуществляется по пути наименьшего сопротивления за счет самоустановки под углом естественного скола почвы. Наблюдается снижение на 9,09 % тягового сопротивления новых трансформируемых рабочих органов для безотвальной обработки почвы с шарнирно закрепленными лапами. Использование шарнирно закрепленных лап оказывает положительное влияние на динамические характеристики орудия, так как в широкополосном спектре колебаний сравнительно низкого уровня отсутствуют пиковые значения амплитуд, поэтому резонансные явления маловероятны. По характеру протекания корреляционной функции установлен колебательный процесс функционирования новых трансформируемых рабочих органов с шарнирно установленными лапами, который характеризуется появлением гармонической составляющей колебательного процесса подвижных элементов рабочего органа. Для обеспечения управления требуемыми параметрами колебательного движения необходимо оснащение конструкции упругим элементом с регулированием его жесткости. Новые трансформируемые рабочие органы для безотвальной обработки почвы не уступают по агротехническим показателям современным техническим средствам.

Литература

1. Gao Y., Sun D., Zhu Z., Xu Y. Hydromechanical behavior of unsaturated soil with different initial densities over a wide suction range // *Acta Geotechnica*. 2018. P. 1–12. DOI: 10.1007/s11440-018-00662-5.
2. Burton G.J., Shend D.S., Cambell C. Bimodal pore size distribution of a high-plasticity compacted clay // *Гйotechnique Letters*. 2014. Volume 4. Issue 2. P. 88–93. DOI: 10.1680/geolett.14.00003.
3. Rosone M., Fabulla C.A., Ferrari A. Shear strength of a compacted scaly clay in variable saturation conditions // *Acta Geotechnica*. 2016. Volume 11. Issue 1. P. 37–50. DOI: 10.1007/s11440-015-0379-7.
4. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. № 3 (18). С. 40–47.
5. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Оптимизация показателей технологических процессов сельскохозяйственного производства в растениеводстве // *Хранение и переработка зерна*. 2017. № 1 (209). С. 55–60.
6. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Измерение силы тяги на крюке трактора в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной // *Тракторы и сельхозмашины*. 2016. № 4. С. 15–19.
7. Система испытаний сельскохозяйственной техники. URL: <http://www.sistemamis.ru> (дата обращения 12.03.2018 г.).

References

1. Gao Y., Sun D., Zhu Z., Xu Y. Hydromechanical behavior of unsaturated soil with different initial densities over a wide suction range. *Acta Geotechnica*. 2018, pp. 1–12. DOI: 10.1007/s11440-018-00662-5.
2. Burton G.J., Shend D.S., Cambell C. Bimodal pore size distribution of a high-plasticity compacted clay. *Гйotechnique Letters*. 2014. Volume 4. Issue 2, pp. 88–93. DOI: 10.1680/geolett.14.00003.
3. Rosone M., Fabulla C.A., Ferrari A. Shear strength of a compacted scaly clay in variable saturation conditions. *Acta Geotechnica*. 2016. Volume 11. Issue 1, pp. 37–50. DOI: 10.1007/s11440-015-0379-7.
4. Parhomenko S.G., Parhomenko G.G. Improving the energy efficiency of mobile tillage machines. *Innovacii v sel'skom hozyajstve*. 2016. No 3 (18), pp. 40–47.
5. Parhomenko G.G., Parhomenko S.G. Optimization of indicators of technological processes of agricultural production in crop production. *Hranenie i pererabotka zerna*. 2017. No 1 (209), pp. 55–60.
6. Parhomenko S.G., Parhomenko G.G. Measurement of traction on the tractor hook in the unit with mounted agricultural machine. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2016. No 4, pp. 15–19.
7. Sistema ispytanij sel'skohozyajstvennoj tekhniki [Agricultural machinery test system]. URL: <http://www.sistemamis.ru> (accessed 12.03.2018 g.).