

ustanovki peremennoy chastoty vrashcheniya // Elektrotehnika. – 2016. – No. 3. – S. 35-40.

6. Wood A. J. and Ackermann B. Power Generation, Operation, and Control. Wiley. – Rezhim dostupa: [https://www.litres.ru/book/allen-j-wood-](https://www.litres.ru/book/allen-j-wood-26690105/power-generation-operation-and-control-34431990/)

26690105/power-generation-operation-and-control-34431990/ (data obrashcheniya 01.07.2026).

7. Mathematical models of synchronous generators at difference. – Rezhim dostupa: <https://s.science-education.ru/pdf/2014/2/59.pdf> (data obrashcheniya 01.07.2026).



УДК 631.3:631.171

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-263-9-80-88

Г.Л. Утенков, Т.И. Утенкова

G.L. Utenkov, T.I. Utenkova

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ АГРОЦЕНОЗОВ

METHOD FOR DESIGNING QUALITY INDICES OF TECHNICAL SYSTEMS FOR AGROCENOSIS CULTIVATION TECHNOLOGY EFFICIENCY

Ключевые слова: агроценозы, зерновые культуры, качество, технология, эффективность, колебательный процесс, техническая система, нестационарность.

Научное обеспечение сельхозпроизводства требует учета качества производимой продукции. Для этого важны 2 условия: 1) высокий теоретический и методологический уровни работ их целостности; 2) теснейшая интеграция с производством, обеспечиваемым разнообразием растениеводства. Достижение цели для получения прибыли обеспечивается минимизацией отклонений объекта исследования от эталонного поведения и усилением полезных воздействий. Однако отечественное производство исходит из минимума затрат и потребляемых ресурсов, но не учитывает статистические свойства почвы. Неучет статистических свойств почвы как динамической системы с пространственно-временными характеристиками является главной причиной формирования колебательных процессов. Технические системы, реализующие технологические процессы в технологиях возделывания агроценозов, относят к нестационарным процессам. В соответствии с агро-требованиями такие технологические процессы не обеспечивают требуемых показателей качества и увеличивают затраты потребляемой энергии. Неэффективное использование технических и энергетических ресурсов в технологиях возделывания агроценозов становится одним из ключевых факторов снижения конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции. Возникает проблема повышения качества и экономической эффективности технологических процессов возделывания агроценозов. Цель – разработать метод проектирования показателей качества технических систем для эффективности тех-

нологий возделывания агроценозов. Задачи исследований входило: 1) выявить основные факторы и показатели эффективности технологических процессов для технологий возделывания агроценозов на основе управления показателями качества технических систем; 2) установить основные взаимосвязи параметров неоднородной структуры почвенного покрова с параметрами технических систем и разработать метод проектирования ресурсосберегающих технологий возделывания агроценозов. Объектом исследований являются технологические процессы взаимодействия основных параметров неоднородной структуры почвенного покрова с параметрами и режимами работы технических систем. В основу методов исследований положены системный анализ и синтез технических систем, методы теории колебаний, методы дифференциальных и интегральных исчислений, метод дискретных элементов (МЧ).

Keywords: agrocenoses, grain crops, quality, technology, efficiency, oscillatory process, technical system, non-stationarity.

Scientific support for agricultural production requires taking into account the quality of the products produced. Therefore, two conditions are essential: 1) a high theoretical and methodological level of work and its integrity; 2) the closest integration with production. The corresponding variability of soil and climatic conditions should be ensured by a variety of crop production. According to general systems theory and the laws of nonlinear synthesis, integrating structures of different ages into a complex structure provides energy and cost savings. This goal is achieved not only by minimizing deviations of the studied object from the reference behavior and filtering out unwanted disturbances, but also by enhanc-

ing beneficial effects and fluctuations. Moreover, the primary goal of any organization in a market economy is profit. However, domestic agricultural machinery manufacturing is based on minimizing the costs of producing technical support for grain crop growing technologies. The primary method of influencing soil and plants during technological process control is mechanical using various types of machinery. Inefficient use of technical and energy resources is becoming a key factor in reducing the competitiveness of agricultural products. The problem with domestic agricultural machinery systems is their functional incompleteness which necessitates their evolutionary development. This raises the challenge of increasing the productivity and economic efficiency of grain crop growing processes. The research goal is to develop a methodological approach for designing technical systems implementing resource-saving technologies for water-saving crop protection. The research ob-

jectives are as following. 1) To identify the key factors and performance indices of water-saving crop protection and determine promising areas for improving their technical support. 2) To establish the key relationships between the parameters of arable land soil structure heterogeneity and the parameters of technical equipment and develop a methodological approach for their design that ensures the implementation of resource-saving technologies for water-saving crop protection. The research target is the technological processes of interaction between the main parameters of the heterogeneous soil cover structure and the parameters and operating modes of technical systems. The research methods are based on systems analysis and synthesis of technical systems, methods of oscillation theory, methods of differential and integral calculus, and the discrete element method.

Утенков Геннадий Леонидович, к.т.н., вед. науч. сотр., Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: utenkov1951@mail.ru.

Утенкова Татьяна Иннокентьевна, к.э.н., доцент, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, р.п. Краснообск, Новосибирская обл., Российская Федерация, e-mail: utain@mail.ru.

Utenkov Gennadiy Leonidovich, Cand. Tech. Sci., Leading Researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: utenkov1951@mail.ru.

Utenkova Tatyana Innokentevna, Cand. Econ. Sci., Assoc. Prof., Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnologies of Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation, e-mail: utain@mail.ru.

Введение

Почвы представляют динамические природные тела и им присуще непрерывное изменение их состава и свойств с течением времени в результате почвообразовательного процесса [1]. Для открытой системы, к которой относится почва, важна не величина, а форма (архитектура) пространственного распределения усилий, а важен баланс притока энергии извне и отток ее наружу. Когда баланс потока энергии изменяется, открытая система реагирует каким-либо изменением ансамбля своих функций. Любое изменение ансамбля функций системы обязательно означает изменение ее структуры, которая у открытой системы претерпевает изменения гораздо чаще и разнообразнее, чем у закрытых систем. Причем изменения в структуре системы выражается через энергию, а изменение структуры физической системы означает изменение ее потенциальной энергии и формы действия [2]. Многообразие изменений структуры открытой системы принято называть адаптацией. Максимальные свойства адаптации проявляются в условиях конкретной среды при наиболее рациональном использовании технических

средств. Задачу управления адаптационными функциями агробиосистемы рассматривают как задачу преобразования ее колебательных процессов [3] путем изменения спектра адаптационных функций агробиосистемы, амплитуды, длительности, фазы колебаний (биоадаптационного) процесса, формы, синхронности или асинхронности колебательных процессов. Если техническая проблема обусловлена функциональной неполнотой применяемой технической системы, то в выборе технологических операций присутствует хаос или отсутствует системность решения. Именно ограниченность видов воздействий ориентирует технологию на эволюционный тип ее развития. Однако действующий закон соответствия функции и структуры технических систем обуславливает требование соответствия между изменчивостью условий функционирования и управляемостью технической системы. Применение высокоточных технологий обеспечивает эффективное использование имеющегося ресурсного потенциала (табл.).

Возникает потребность в новых требованиях к средствам механизации АПК, которые сводятся к трем группам: 1) удовлетворение потребно-

стей технологий производства сельхозтоваро-производителей с целью получения возможно высокого конечного результата в условиях жесткого ограничения всех ресурсов; 2) широкая адаптивность средств механизации к агроландшафтам и организационно-экономическим усло-

виям зонального производства сельхозпродукции; 3) ускоренное производство новых средств механизации на различных машиностроительных заводах в регионах-потребителях с минимальными затратами денежных средств и других потребляемых ресурсов [2].

Таблица

Сравнительная характеристика ресурсов, потребляемых при экстенсивных и высокоточных технологиях

Ресурсы	Экстенсивные технологии	Высокоточные технологии
Семена	1 кг → 10-12 кг зерна	1 кг → 40-60 кг зерна
Топливо	1 кг → 2-3 кг зерна	1 кг → 7-9 кг зерна
Удобрения	1 ц.д.в. → 2-3 кг зерна	1 ц.д.в. → 10-12 кг зерна
Атмосферные осадки	1 ц.д.в. → 2-3 кг зерна	1 ц.д.в. → 10-12 кг зерна

Цель – разработать метод проектирования показателей качества технических систем для эффективности технологий возделывания агроценозов.

Задачи исследований:

1) выявить основные факторы и показатели эффективности технологических процессов для технологий возделывания агроценозов на основе управления показателями качества технических систем;

2) установить основные взаимосвязи параметров неоднородной структуры почвенного покрова с параметрами технических систем и разработать метод проектирования ресурсосберегающих технологий возделывания агроценозов.

Объекты и методы

Объектом исследований являются технологические процессы взаимодействия основных параметров неоднородной структуры почвенного покрова с параметрами и режимами работы технических систем.

В основу методов исследований положены системный анализ и синтез технических систем, методы теории колебаний, методы дифференциальных и интегральных исчислений, метод дискретных элементов (МЧ).

Результаты и их обсуждение

В процессе обработки почвы результирующее усилие на крюке не остается постоянным, а непрерывно изменяется вследствие влияния различных факторов на его величину. Особую актуальность эта задача приобретает, когда требуется оценить качественную сторону машин в отношении их потребительских свойств.

С изменением результирующего усилия изменяются его горизонтальная и вертикальная составляющие, что вызывает неравномерное движение рабочих органов орудий, ухудшая качество выполняемых технологических процессов, снижая производительность машинно-тракторного агрегата (МТА). Для оптимальной урожайности сельскохозяйственных культур необходима равномерность заделки семян, являющаяся актуальной технической задачей. Предполагается, что решение данной технической задачи возможно комбинированными многозвенными агрегатами (КМА). Для получения количественной оценки процессов взаимодействия КМА с неоднородностями, присутствующими в пахотном горизонте, в качестве теоретической модели используются физические модели колебательных маятниковых или пружинных систем. Числовые характеристики исследуемых колебательных процессов определяются на основе составления уравнений Лагранжа второго рода и их решения. Следует заметить, что для КМА рассматриваемая проблема остается нерешенной. Нами изложена методология принятия решений при управлении агроценозами в технологиях [4], а также развитие численного метода решения задач, связанных с устойчивостью хода комбинированных агрегатов [5].

На агрегат действуют внешние силы в разных направлениях. Разложим их на три ортогональные направления. При условии симметричного расположения орудий относительно оси x , расположенной вдоль направления движения агрегата, сумма компонент сил по оси y равна нулю. Задачу об устойчивом ходе агрегата можно рассмотреть в двумерной постановке относительно компонент сил, действующих в верти-

кальной плоскости Oxz и проходящей через ось $y = 0$.

Постановка и решение задачи. Агрегат состоит из n жестких звеньев, моделируемых стержнями длиной L_k и массой m_k , (рис. 1). К k -му звену прикреплены n_k различных рабочих органов пружинами с жесткостью D_{kj} , $j = 1, \dots, n_k$.

Каждое орудие размером d_{kj} имеет массу m_{kj} и расположено на расстоянии l_{kj} от начала звена. «Не опорные» орудия в начальный момент времени заглублены в почву на величину h_{kj} . Рабочие органы представляют собой комбинацию: стойки в виде отрезка и самого рабочего органа – отрезка в случае «не опорного» орудия и диска в случае «опорного» рабочего органа (рис. 1).

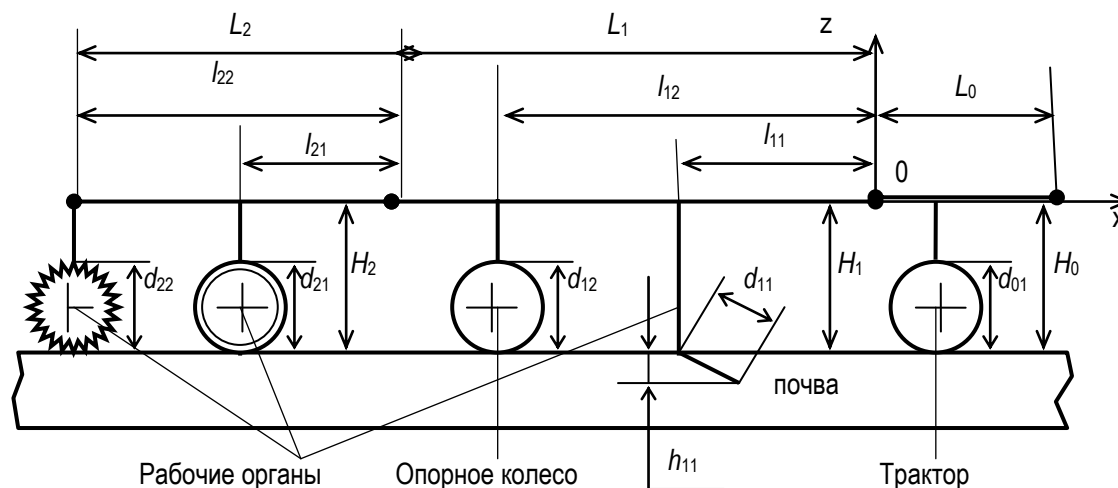


Рис. 1. Расчетная схема комбинированного почвообрабатывающего агрегата

При таком представлении рабочих органов появляется возможность учесть моменты, появляющиеся в процессе движения агрегата. Первое звено связано с трактором массой m_0 , который развивает тяговое усилие F_0 на крюке. Трактор – звено, имеющее нулевой номер. Начало O неподвижной глобальной системы координат Oxy свяжем с точкой, соответствующей положению крюка до начала движения трактора. Полагаем, что поле имеет горизонтальную поверхность, а физико-механические свойства почвы Ω в пределах данного поля обладают определенными количественными характеристиками. Такие допущения направлены на поиск внутренней сущности имманентно присутствующих дискретных состояний в структуре пахотного горизонта, следствием воздействия на которые есть колебательные процессы.

Нам известны работы, учитывающие наличие склонов и их влияние на качество обработки почвы, вызывая в них антропогенную эрозию [6, 7].

В основе точного земледелия, как одного из наиболее перспективных направлений агрономической науки, лежит представление о значительном повышении урожаев, экономии ресур-

сов и снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду. Дифференциация агротехнологий, в соответствии с пространственным варьированием факторов продуктивности в пределах отдельного сельскохозяйственного поля, прогнозирует желаемые результаты. Первостепенное значение приобретают глубокое изучение пространственной неоднородности сельскохозяйственных полей, разработка усовершенствованных методов ее количественного описания. Однако универсальной математической модели, одинаково пригодной как для теоретических исследований, так и для практических расчетов и прогнозов в широком временном и пространственном масштабе, не просто не существует, но ее в принципе невозможно создать. Правильная стратегия заключается в создании специфических узкоориентированных решений для каждой конкретной проблемы – моделирования для конкретного случая [8]. В качестве конкретного случая нами рассматриваются технологии точного земледелия (ТЗ), как перспективного направления повышения эффективности технологий, позволяющие снижать затраты (25%) на приобретение химикатов [9]. Однако отсутствие теории управления в ТЗ, а также неучет физических

свойств почвы [10], оказывающих влияние на выбор технологических процессов, не обеспечивают желаемую эффективность даже в применяемых технических решениях. Согласно [11], любая агротехнология содержит последовательность технологических операций, а сама проблема управления заключается в выборе оптимального числа этих операций, определения их размера и времени использования. Эта проблема пока не решена в ТЗ [11].

В процессе движения агрегата на рабочие органы действуют силы реакции со стороны почвы: возмущающая сила F_{kj}^v , действующая на рабочую поверхность «не опорных» рабочих органов, носит циклический характер, связанный с механизмом их взаимодействия с почвой. Для

упрощения расчетов аппроксимируем вид этой силы синусоидой (рис. 2) с амплитудой ΔF_{kj}^v , равной:

$$\Delta F_{kj}^v = F_{kj}^{v \max} - F_{kj}^{v \min}, \quad (1)$$

где k – номер звена, к которому прикреплено рассматриваемое j -тое орудие;

$F_{kj}^{v \max}$ – максимальное значение возмущающей силы, соответствующее достижению предельного напряженно-деформированного состояния в почве впереди орудия вдоль некоторой площадки, по которой произойдет сдвиг почвы;

$F_{kj}^{v \min}$ – минимальное значение возмущающей силы, соответствующее окончанию процесса сдвига вдоль указанной площадки и началу сжатия другого слоя почвы.

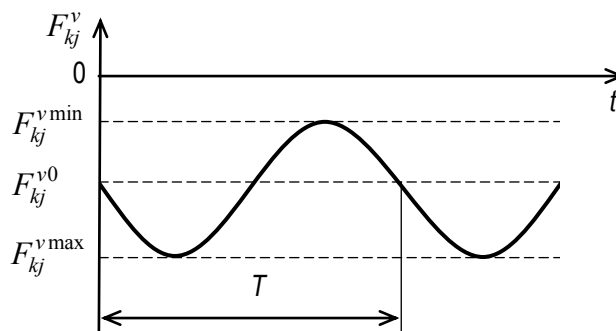


Рис. 2. График зависимости возмущающей силы от времени

Среднее значение результирующей силы F_{kj}^{v0} растёт примерно линейно с увеличением скорости v агрегата и его можно представить в виде [5]:

$$F_{kj}^{v0} = -(F_{ckj} + v h b f(\Omega)), \quad (2)$$

где F_{ckj} – статическая составляющая результирующей силы;

h – глубина хода орудия;

b – ширина рабочей поверхности орудия;

$f(\Omega)$ – коэффициент, зависящий от физико-механических параметров Ω почвы.

Горизонтальная F_{xkj}^v и вертикальная F_{zkj}^v компоненты возмущающей силы зависят от угла α наклона рабочего органа и угла его контактного трения φ_μ :

$$\begin{aligned} F_{xkj}^v &= F_{kj}^v \cos \left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \varphi_\mu \right), \\ F_{zkj}^v &= F_{kj}^v \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha - \varphi_\mu \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Период T данной синусоиды равен:

$$T = \lambda / v, \quad (4)$$

где λ – длина волны возмущающей силы F_{kj}^v :

$$\lambda = d / \sin \psi, \quad (5)$$

где d – расстояние между периодически возникающими слоями почвы;

ψ – угол наклона площадок сдвига или отрыва к горизонту.

При теоретическом определении угла ψ наибольшее распространение в механике обработки почвы получила формула [12]:

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha + \varphi_\mu + \varphi}{2}, \quad (6)$$

где φ – угол внутреннего трения почвы.

Дальнейшие исследования показали, что получаемые по этой формуле углы ψ дают большие расхождения с их экспериментальными значениями [13, 14]. В работе [15] показано, что увеличение угла α приводит к увеличению угла φ_μ трения почвы по рабочей поверхности рабочего органа. Установлено, что на глубинах до

10-12 см в основном наблюдаются сдвиговые площадки, на больших – чаще отрывные, и на основе этого предложены две различные схемы по расчету сдвигового и отрывного углов ψ [16]. Анализ литературных источников показал, что на сегодня нет достаточно надежной формулы по определению угла ψ . Будем использовать его значения, полученные в экспериментах. На рисунке 3 представлена схема действия сил на орудия комбинированного агрегата как технической системы.

Примеры расчетов. С учетом предлагаемого метода расчета (МЧ) проведем сравнение вертикальных колебаний

агрегата типа «Лидер» с условиями: $v_{xi}(t=0) = 2 \text{ м/с}$, $v_{zi}(t=0) = 0$, $\omega_{yi}(t=0) = 0$, с параметрами: $b = 0,3-0,4 \text{ м}$; $h = 0,12 \text{ м}$; $d = 0,03-0,04 \text{ м}$; $v = 2 \text{ м/с}$; $\nu = 25^\circ$; $\varphi_\mu = 25^\circ$; $f = 20000$; $\delta = 0,7$ [5, 13] для плоскорезов; $D = 300000 \text{ Н/м}$, $f_c = 0,3$ для колес и катков; $m = 200, 50, 280 \text{ кг}$ – суммарные массы для плоскорезов, опорных колес и катков, расположенных в одном ряду. Масса трактора – 5000 кг, первого звена – 800 кг, второго – 100 кг (рис. 4, 5). Общая схема, принятая для расчета, приведена на рисунке 4.

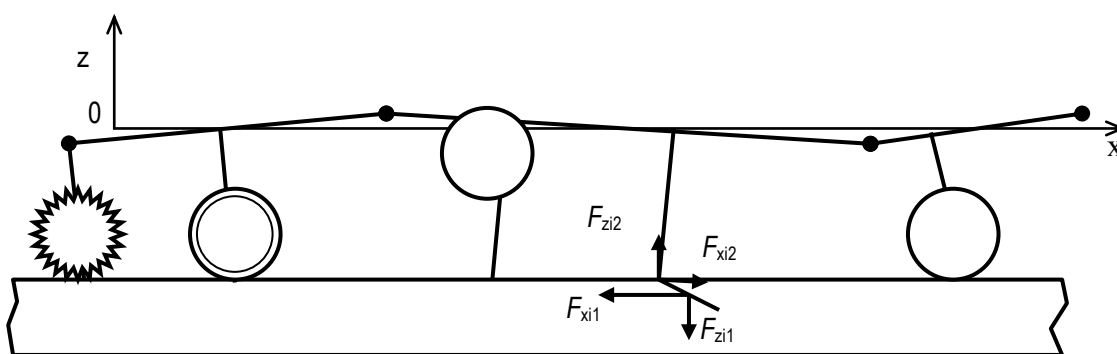


Рис. 3. Расчетная схема действия сил на орудия комбинированного агрегата

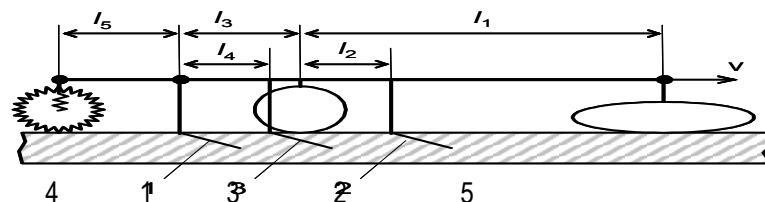


Рис. 4. Схема комбинированного многозвенного агрегата «Лидер»: 2, 1 – рабочие органы плоскореза; 3 – опорное колесо; 4 – каток; 5 – трактор

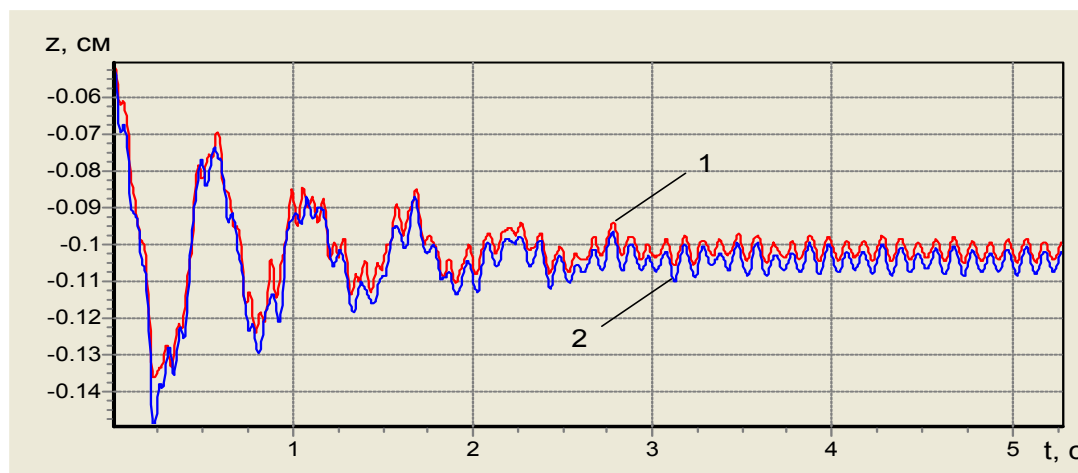


Рис. 5. Вертикальные перемещения рабочих органов 1,2 агрегата «Лидер»: $l_1 = 2,4 \text{ м}$; $l_2 = 0,8 \text{ м}$; $l_3 = 1,0 \text{ м}$; $l_4 = 0,8 \text{ м}$; $l_5 = 1,0 \text{ м}$

Согласно зарубежным исследованиям, решающее влияние на экономическую эффективность имеет урожайность [17]. С возрастающей урожайностью снижаются постоянные и переменные издержки на единицу произведенного зерна. Таким образом, результаты расчетов показывают, что амплитуда вертикальных колебаний комбинированного агрегата типа «Лидер» меньше, чем у однозвенного агрегата, и находится в пределах агротребований ($\pm 1,0$ см). Причем отклонение от заданной глубины заделки семян более чем на $\pm 1,0$ мм приводит к потерям около четверти урожая, а при каждом $\pm 1,0$ см глубины формирующейся колеи увеличивается перерасход потребляемого топлива на 10% [18].

Заключение

Неоднородность структуры почвенного покрова, а также специфический циклический принцип работы почвообрабатывающих орудий, как технических систем, приводит к реализации нестационарных технологических процессов, обладающих высокой энергоемкостью и низким качеством выполняемых технологических процессов. ограниченность видов воздействий технических систем ориентирует технологию на эволюционный тип ее развития.

Для получения количественных оценок колебательных процессов взаимодействия КМА с неоднородностями, присутствующими в пахотном горизонте, нами представлена его модель движения как твердое тело с наличием n_i твердых элементов. Причем в основе теоретической модели использовались физические модели колебательных маятниковых или пружинных систем. Для получения числовых характеристик исследуемых колебательных процессов использовались уравнения Лагранжа второго рода и их решения.

На основе дальнейшего развития численного метода решения задач (МЧ) [5] решена задача устойчивости хода и снижения энергоемкости многозвенных комбинированных агрегатов как технических систем. Показано, что при действии вынуждающей гармонической силы в одномассовом агрегате невозможно погасить колебания. Колебания одномассового агрегата можно уменьшить путем увеличения показателя затухания собственных колебаний $\alpha = k / 2m$.

Таким образом, предложенный метод проектирования технических систем для ресурсосберегающих технологий возделывания агроцено-

зов, в сравнении с одномассовыми агрегатами, улучшает качество реализуемых процессов.

Библиографический список

1. Добровольский, Г. В. Философские аспекты генетического почвоведения / Г. В. Добровольский. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 901-910.
2. Беспаятная, Н. М. Научно-методические основы адаптации почвообрабатывающих и посевных машин / Н. М. Беспаятная. – Ростов-на-Дону: ООО «Терра», НПК «Гефест», 2002. – 176 с. – Текст: непосредственный.
3. Башилов, А. М. Электронно-оптическое зрение в аграрном производстве / А. М. Башилов. – Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2005. – 312 с. – Текст: непосредственный.
4. Утенков, Г. Л. Управление агроценозами. Методология принятия решений в технологиях / Г. Л. Утенков, К. С. Голохваст, Т. И. Утенкова. – Текст: электронный // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2026. – Вып. 56, № 2 (327). – С. 101-112. – URL: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-26-2-11>.
5. Утенков, Г. Л. Метод частиц и его адаптация к задачам механики обработки почвогрунтов / Г. Л. Утенков. – Новосибирск, 2003. – 140 с. – Текст: непосредственный.
6. Макарычев, С. В. Склоновые почвы и особенности формирования в их профиле водного режима / С. В. Макарычев, И. В. Шорина. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-218-12-38-43. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 12 (218). – С. 38-43.
7. Кормициков, А. Д. Техника и технологии для склоновых земель. Теория, технологический расчет, развитие / А. Д. Кормициков. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2003. – 298 с. – Текст: непосредственный.
8. Имитационная модель агроэкосистемы как инструмент теоретических исследований / В. Л. Баденко, А. Г. Топаж, В. В. Якушев [и др.]. – Текст: непосредственный // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52, № 3. – С. 437-445.
9. Якушев, В. П. Перспективы «Умного сельского хозяйства» в России / В. П. Якушев, В. В. Якушев. – Текст: непосредственный // Вестник Российской академии наук. – 2018. – Т. 88, № 9. – С. 773-784.
10. Киртбая, Ю. К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка / Ю. К. Киртбая. –

2-е изд. перераб. и доп. – Москва: Колос, 1982. – 319 с. – Текст: непосредственный.

11. Михайленко, И. М. Теоретические основы и техническая реализация управления агротехнологиями. – Санкт-Петербург: Изд-во политехн. ун-та, 2017. – 252 с. – Текст: непосредственный.

12. Горячкин, В. П. Собрание сочинений / В. П. Горячкин. – Москва: Колос, 1968. – Т. 1. – 720 с. – Текст: непосредственный.

13. Рекомендации по применению комбинированных почвообрабатывающих агрегатов «Лидер» в ресурсосберегающих технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. – Краснообск: «Ревик-К», 2002. – 35 с. – Текст: непосредственный.

14. Любимов, А. И. Динамические свойства полунавесного плуга при движении в неоднородной среде / А. И. Любимов, В. В. Бледных. – Текст: непосредственный // Сборник научных трудов / ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1970. – Вып. 33. – С. 58-63.

15. Свечников, П. Г. Результаты лабораторных исследований процесса формирования пласта на клине / П. Г. Свечников. – Текст: непосредственный // Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов. – Челябинск, 1983. – С. 18-24.

16. Соловьев, С. П. Лабораторное исследование процесса резания почвы / С. П. Соловьев. – Текст: непосредственный // Труды Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства. – Москва, 1967. – Т. 43. – С. 9-10.

17. Зерновые культуры. Т. 1. (Выращивание, уборка, доработка и использование) / Д. Шпаар [и др.]; под общей редакцией Д. Шпаара. – Москва: ИД ООО «DLV АГРОДЕЛО», 2008. – 336 с. – Текст: непосредственный.

18. Черноиванов, В. И. Интеллектуальная сельскохозяйственная техника / В. И. Черноиванов, А. А. Ежевский, В. Ф. Федоренко. – Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 124 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Dobrovolskiy G.V. Filosofskie aspekty geneticheskogo pochvovedeniya // Pochvovedenie. – 2004. – No. 8. – S. 901-910.

2. Bespamyatnaya N.M. Nauchno-metodicheskie osnovy adaptatsii pochvoobrabatyvayushchikh i posevnykh mashin. – Rostov n/D: ООО «Terra»; NPK «Gefest», 2002. – 176 s.

3. Bashilov A.M. Elektronno-opticheskoe zrenie v agrarnom proizvodstve. – Moskva: GNU VIESKh, 2005. – 312 s.

4. Utenkov, G. L. Upravlenie agrotsenozami: metodologiya prinyatiya resheniy v tekhnologiyakh / G. L. Utenkov, K. S. Golokhvast, T. I. Utenkova // Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. – 2026. – T. 56, No. 2 (327). – S. 101-112. – DOI 10.26898/0370-8799-2026-2-11.

5. Utenkov G.L. Metod chastits i ego adaptatsiya k zadacham mekhaniki obrabotki pochvogrunтов. – Novosibirsk, 2003. – 140 s.

6. Makarychev, S. V. Sklonovye pochvy i osobennosti formirovaniya v ikh profile vodnogo rezhima / S. V. Makarychev, I. V. Shorina // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – No. 12 (218). – S. 38-43. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-218-12-38-43.

7. Kormshchikov A.D. Tekhnika i tekhnologii dlya sklonovykh zemel. Teoriya, tekhnologicheskii raschet, razvitie. – Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2003. – 298 s.

8. Badenko V.L., Topazh A.G., Yakushev V.V., Mirshel V., Nendel K. Imitatsionnaya model agroekosistemy kak instrument teoreticheskikh issledovaniy // Selskokhozyaystvennaya biologiya. – 2017. – T. 52., No. 3. – S. 437-445.

9. Yakushev V. P., Yakushev V. V. Perspektivy "Umnogo selskogo khozyaystva" v Rossii // Vestnik Rossiyskoy akademii nauk. – 2018. – T. 88, No. 9. – S. 773-784.

10. Kirtbaya Yu.K. Rezervy v ispolzovanii mashinno-traktornogo parka. – 2-e izd. pererab. i dop. – Moskva: Kolos, 1982. – 319 s.

11. Mikhaylenko I.M. Teoreticheskie osnovy i tekhnicheskaya realizatsiya upravleniya agrotekhnologiyami. – Sankt-Peterburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2017. – 252 s.

12. Goryachkin V.P. Sbranie sochineniy. – Moskva: Kolos, 1968. – T. 1. – 720 s.

13. Rekomendatsii po primeneniyu kombinirovannykh pochvoobrabatyvayushchikh agregatov "Lider" v resursosberegayushchikh tekhnologiyakh vozdelevaniya selskokhozyaystvennykh kultur. – Krasnoobsk: "Revik-K", 2002. – 35 s.

14. Lyubimov A.I., Blednykh V.V. Dinamicheskie svoystva polunavesnogo pluga pri dvizhenii v neodnorodnoy srede / Sb. nauch.tr. / CHIMESKh. – Chelyabinsk, 1970. – Vyp.33. – S. 58-63.

15. Svechnikov P.G. Rezultaty laboratornykh issledovaniy protsesssa formirovaniya plasta na kline

/ Pochvoobrabatyvayushchie mashiny i dinamika agregatov. – Chelyabinsk, 1983. – S.18-24.

16. Solovev S.P. Laboratornoe issledovanie protsessa rezaniya pochvy // Trudy VIM. – 1967. – T. 43. – S. 9-10.

17. Shpaar i dr. Zernovye kultury. T. 1. (Vy-rashchivanie, uborka, dorabotka i ispolzovanie) /

pod obshchey redaktsiey D. Shpaara. – Moskva: ID OOO "DLV AGRODELO", 2008. – 336 s.

18. Chernoi vanov V.I., Ezhevskiy A.A. Fedorenko V.F. Intellektualnaya selskokhozyaystvennaya tekhnika. – Moskva: FGBNU "Rosinformagrotekh", 2014. – 124 s.



УДК 631.316.4

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-263-9-88-95

И.А. Лонцева, В.В. Кучер

I.A. Lontseva, V.V. Kucher

ОБОСНОВАНИЕ ГРЕБНЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ МЕЖДУРЯДНОЙ ОБРАБОТКЕ СОИ РОБОТИЗИРОВАННЫМ КУЛЬТИВАТОРОМ

SUBSTANTIATION OF RIDGE FORMATION DURING INTER-ROW TILLAGE OF SOYBEAN CROPS BY A ROBOTIC TILLER

Ключевые слова: междурядная обработка, ширококормный посев сои, формирование гребня, фаза развития сои, культиватор Гелиос Agrokraft, высота гребня.

Рассматривается влияние конструктивных параметров и рабочих органов на формирование гребня различной высоты в зависимости от фазы развития сои при междурядной обработке. Обработку выполняли на посевах сои с междурядьем 45 см с применением роботизированного культиватора Гелиос Agrokraft, оснащённого автоматической системой точного наведения EXACT и рабочими органами в виде 2 односторонних лап и 1 стрельчатой лапы по центру ряда. В период вегетации проводили 2 междурядные обработки на рабочих скоростях 10-12 км/ч. Первую обработку – в фазу 1-2-го тройчатого листа с использованием защитных дисков, 2-ю – в фазу от 3-го тройчатого листа до смыкания рядков без защитных дисков. Установлено, что при 1-й обработке формируется гребень высотой $3,08 \pm 0,01$ см, а при второй – $7,08 \pm 0,04$ см. Предложена математическая модель в виде полинома 3-го порядка. При сравнении 2 полученных зависимостей следует, что все коэффициенты уравнения при 2-й междурядной обработке по модулю больше, чем при 1-й, что подтверждено экспериментально высотой сформированного гребня. Выявлена симметричность формирования гребня для соседних рядов, разница составила 0,02-0,09 см, что находится в пределах абсолютной погрешности измерений. Двухэтапная технология позволяет на ранних фазах за счёт защитных дисков избежать засыпания растений и обеспечить прогрев почвы, а на более поздних – улучшить аэрацию корневой зоны, усилить подав-

ление сорняков и отвести избыточную влагу. Повреждение культурных растений рабочими органами не зафиксировано. Полученные результаты подтверждают, что гребнеобразование является полноценным агротехническим приёмом, а использование роботизированного культиватора с системой точного наведения обеспечивает точную работу на скоростях 10-12 км/ч.

Keywords: inter-row tillage, wide-row soybean sowing, ridge formation, soybean growth stage, Helios Agrokraft tiller, ridge height.

The influence of design parameters and working tools on the formation of a ridge of varying height depending on the soybean development stage during inter-row tillage is discussed. The tillage was performed on soybean crops with a row spacing of 45 cm using a Helios Agrokraft robotic tiller equipped with the EXACT automatic precision guidance system and working tools in the form of two one-sided shares and one sweep share located in the center of the row. Two inter-row tillage operations were performed during the growing season at operating speeds of 10–12 km/h. The first tillage was carried out at the first to second trifoliate leaf stage using protective discs, and the second - from the third trifoliate leaf stage to row closure without protective discs. It was found that the first tillage formed a ridge with a height of 3.08 ± 0.01 cm, while the second one formed a ridge of 7.08 ± 0.04 cm. A mathematical model in the form of a third-order polynomial was proposed. A comparison of the two obtained dependences showed that all the equation coefficients for the second inter-row tillage were larger in absolute value than those for the first one which was experimentally confirmed by the height of the