

УДК 631.17:631.331:631.816.1

UDC 631.17: 631,331: 631.816.1

05.00.00 Технические науки

Engineering

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПУТЕМ ЗАМЕНЫ МЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ АНАЛОГАМИ

ENERGY CONSERVATION INCREASE IN TECHNOLOGICAL PROCESSES BY REPLACEMENT OF MECHANICAL DEVICES WITH ELECTRICAL AND ELECTRONIC ANALOGUES

Беспамятнова Наталья Михайловна
д-р техн. наук, профессор,
SPIN-код: 6075-5920, AuthorID: 679011

Bespamyatnova Natalia Mikhailovna
Dr.Sci.Tech., Professor,
SPIN-code: 6075-5920, AuthorID: 679011

Рыков Виктор Борисович
д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
SPIN-код: 8328-6310, AuthorID: 424873

Rykov Viktor Borisovich
Dr.Sci.Tech., senior science worker,
SPIN-code: 8328-6310, AuthorID: 424873

Реутин Виталий Валентинович
канд. техн. наук, науч. сотр.,
SPIN-код: 6701-6938, AuthorID: 687367

Reutin Vitaly Valentinovich
Cand.Tech.Sciences, scientific worker,
SPIN-code: 6701-6938, AuthorID: 687367

Беспамятнов Юрий Алексеевич
науч. сотр.,
SPIN-код: 3197-7431, AuthorID: 696681

Bespamjatov Yuri Alekseevich
science worker,
SPIN-code: 3197-7431, AuthorID: 696681

Колинько Алексей Александрович
конструктор,
SPIN-код: 9231-9649, AuthorID: 731190
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства»
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской» (ФГБНУ СКНИИМЭСХ ФГБНУ АНЦ «Донской»), 347740, г. Зерноград Ростовская область, Россия, ул. им. Ленина, д. 14., e-mail: vnipim@gmail.com*

Kolinko Alexey Alexandrovich
constructor,
SPIN: 9231-9649, AuthorID: 731190
*Federal state budget Scientific Institution "North Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture", Federal state budget Scientific institution "Agrarian Science Center" Donskoy " (FSBSI NCSRIMEA FSBSI ASC "Donskoy"),
347740, Zernograd, the Rostov Region, Russia, vnipim@gmail.com*

В статье рассматривается применение теории регулирования для синтеза технологических механических устройств и замены их электрическими или электронными аналогами с целью снижения энергопроцессов в почвообрабатывающих и посевных машинах

The article deals with the application of the theory of regulation for the synthesis of technological mechanical devices and their replacement by electrical or electronic analogs in order to reduce energy processes in soil cultivating and sowing machines

Ключевые слова: ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ЭЛЕМЕНТЫ ВИБРАЦИИ, МЕТОДОЛОГИЯ СИНТЕЗА АДАПТИВНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕ-ПОСЕВНЫХ МАШИН, ДИНАМИЧЕСКИЕ СВЯЗЬ АНАЛОГОВ МЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Keywords: ENERGY CONSERVATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES, ELEMENTS OF VIBRATION, METHODOLOGY OF SYNTHESIS OF ADAPTIVE SOIL-PROCESSING-SEEDING MACHINES, DYNAMICAL LINKS OF ANALOGUES OF MECHANICAL DEVICES

Doi: 10.21515/1990-4665-129-039

Одной из главных задач фундаментальной науки является формирование новых направлений научно-технологического и социального развития страны. В дальнейшем каждое научное достижение будет представлять собой синтез «цифрового» и «материального», многие изучаемые явления будут моделироваться на компьютере, а затем синтезироваться в их материальной сущности [1].

В области механизации сельского хозяйства необходимы новые знания фундаментальных основ развития энергоснабжения и энергосбережения, в частности методология, методы решения проблем управления энергосбережением в сельскохозяйственном производстве. Важнейшим способом регулирования агрофизических, биологических и агрохимических свойств почвы является механическое воздействие на нее с помощью различных типов рабочих органов, которые связаны с затратами энергии, что во многом предопределяет экономическую эффективность производства сельскохозяйственных наук [2].

В Аграрном научном центре «Донской» (на базе института ВНИПТИМЭСХ) накоплен значительный опыт по созданию теоретических основ управляемого синтеза технологических структур почвообрабатывающих и посевных машин с использованием вибрационных процессов в растениеводстве [3, 4]. Исследования проводились с целью повышения энергосбережения технологических процессов путем замены механических устройств электрическими и электронными аналогами с возможностью более глубокого исследования механики сыпучих сред для синтеза машин и орудий нового направления обработки почвы и посева, позволяющих снижать энергоемкость технологических процессов.

Исследовались несколько видов технологических процессов, выполняемых почвообрабатывающими и посевными машинами и агрегатами. В основе снижения эффекта энергоемкости процесса полагали, что при воздействии вибрации на обрабатываемую среду (почва, зерно, удобрения)

обычный объемный вес заменяется на динамический, который меньше на 20 – 30%, поэтому обработка среды менее энергоемка, а необходимая подача энергии к ней для выполнения технологического процесса уменьшается.

Так установлено, что для адаптации вибрационного рабочего органа к заглублению и рыхлению почвы на заданную глубину структурная схема машины должна быть сентизирована по условию пропорциональности приращения энергии в почву рабочим органом и необходимой энергии для изменения самой почвы.

Разработка адаптивных средств механизации возможна на основе развития нового направления фундаментальной науки – неравновесной механики, в которой заложено представление о движении вообще как в любом процессе расхода и накопления энергии в физических системах, а также при переходе энергии из одного в другую [5]. Причем в зависимости от вида системы эти процессы протекают различно: в замкнутой системе полная энергия сохраняется, происходит переход кинетической энергии в потенциальную и обратно.

Для открытой системы, которой является почва как живая биологическая система, важным становится баланс притока энергии извне и диссипация ее избытка в почве. Открытая система способна проявить постоянную устойчивость за счет специальных актов: поглощения энергии извне или отдачи ее. Любое изменение этих актов обязательно изменяет ее структуру, это многообразие структуры и принято называть адаптацией.

Если распространить этот принцип на взаимодействие почвообрабатывающих машин с почвой, то технологические процессы при этом могут быть представлены как результат воздействия открытых распределенных систем (почвы и технической) и являются колебательными процессами (в широком смысле) со взаимным переходом энергии из одной системы в другую, что собственно и является условием функционирования «среда –

машина». Рассматривая системно эти взаимодействия как взаимодействие колебательных процессов этих систем, можно подойти к решению задач синтеза адаптивных агрегатов.

В данной работе предлагается методология синтеза адаптивных почвообрабатывающих и посевных агрегатов при целенаправленном подборе изменений структуры «рабочий орган – почва», выраженных посредством термодинамических характеристик. Тогда общая задача синтеза структурной схемы почвообрабатывающе-посевных агрегатов может быть сформирована в виде нахождения для каждой отдельной функции агрегата динамического звена-аналога с последующим созданием технических устройств с регламентированными характеристиками и дальнейшей оптимизации набора звеньев по их быстродействию, устойчивости выполняемого процесса и т.д.

Для математической формулировки поставленной задачи следует выполнять ряд следующих шагов [3]:

- выбор основного набора типовых технологических операций (функций), их анализ и классификация (банк данных);
- идентификация реализации технологического процесса с соответствующими алгоритмами, звеньями и техническими устройствами;
- составление типовой структурной схемы агрегата;
- оптимизация параметров звеньев структурной схемы и реализация их в технических устройствах (средствах);
- оптимизация общей структуры построения адаптивных агрегатов, базирующихся на использовании типовых звеньев.

Идентификация реализации технологического процесса с типовыми звеньями производится с использованием теории регулирования, в которой передаточные функции характеризуют реакцию динамического звена на единичное воздействие при нулевых начальных условиях. Так действие простого усилительного звена аналогично действию рычага, который лишь

усиливает или ослабляет входную величину. Аperiodическое звено характеризует постепенность нарастания сигнала на входе звена, обусловленное его инерцией. Колебательное звено отражает колебательный процесс в определенных режимах. Интегрирующее звено описывает нарастание во времени величины и устойчивость ее во времени. Запоздывающее звено характеризует начало процесса через некоторый интервал после подачи сигнала на вход. В практике встречаются комбинированные звенья.

При проведении исследований нами установлено, что для адаптации вибрационного рабочего органа к заглублению и рыхлению почвы на заданную глубину структурная схема машины должна быть синтезирована по условию пропорциональности приращения энергии в почву [4]. Это достижимо если рабочий орган (лапа, сошник) выполнен с передаточной функцией в виде периодического звена, что удовлетворяет требованиям наиболее быстрого восстановления процесса формирования заданной глубины хода в зависимости от соотношения темпа подачи энергии и поглощения ее почвой. Для дисковых сошников при глубине обработки почвы до 10 – 14 см частота их вибрации составляет $12 - 15 \text{ с}^{-1}$, а для дисковых батарей – $4 - 8 \text{ с}^{-1}$.

Процесс размещения семян по площади в подсошниковом пространстве формируется введением интегрирующего звена, обеспечивающего сдвиг фаз – 90° с частотой колебаний вибратора $25 - 45 \text{ с}^{-1}$.

При исследовании энергетических показателей работы современного катушечного аппарата нами установлено, что для равномерного истечения семян пшеницы достаточна частота вращения вспомогательного элемента $18 - 22 \text{ с}^{-1}$. Следовательно, энергия, необходимая на выполнение высева семян, ничтожно мала по сравнению с энергией, потребляемой на привод высевающих аппаратов.

Процесс равномерного высева семян и удобрений заключается в том, что, сообщая массе семян колебательные движения с определенной

частотой и амплитудой можно добиться свободного равномерного истечения их из емкостей (бункеров). Сложность исследования процесса заключается в необходимости построения математической модели с распределенными параметрами, движение которой является результатом взаимодействия механической дискретной подсистемой (слоя семян) и системы с распределенными параметрами – пластиной-вибратором. Построение однородной динамической модели с распределенными параметрами не предоставляется возможным. Для уточнения анализа такой системы следует выбирать гибридную модель: часть системы – слой семян – представлена дискретной динамической моделью, а пластина-вибратор – динамической моделью с распределенными параметрами:

$$[D]p + \rho h \frac{d^2 p}{dt^2} = -[\sigma][C][U]; \quad (1)$$

$$[M] + [K] = C_p + \int_{f_{BB}}^{f_B} C_{II}, \quad (2)$$

где $[D]$ – матрица системы с оператором Лапласа, кг/(м²·с²);

p – нормальный прогиб пластины, м;

h – толщина пластины, м;

ρ – плотность материала пластины, кг/м³;

$[K]$ – матрица жесткости системы, кг/с²;

$[M]$ – матрица инерции системы, кг/с²;

$[\sigma]$ – матрица производных импульсов функций первого и второго порядков (длительности импульса), с²/(кг·м);

$[C]$ – матрица жесткостей и упругих связей перемещения семян по плоскости, учитывающая коэффициенты трения, уплотнения, истечения и т.д., кг/с²;

$[U]$ – матрица, учитывающая ускоренное истечение дозы высева семян по длине бункера, кг/с²;

C_p – жесткость пластины, кг/с²;

$\int_{f_{BB}}^{f_B} C_{II}$ – показатель, учитывающий пластичность семян, кг/с²;
 f_{BB}, f_B – коэффициенты внутреннего трения с вибрацией и без
вибрации соответственно.

Гибридная модель отражает интенсивность истечения семян (массового расхода) по времени и длине бункера: размерность частей (1) – кг/(м·с²); частей (2) – кг/с². Необходимая интенсивность достигается управляющей матрицей $[\sigma]$, характеризующий работу вибратора, колебания которого уменьшают f_B, k_y и увеличивают $k_{и}$ ($k_y, k_{и}$ – соответственно коэффициенты уплотнения и истечения семян [6]).

В ходе исследований установлено, что скорость истечения сыпучих материалов из бункеров зависит не от механических размеров, а скорее от физических свойств: объемного веса, коэффициента трения и начального сопротивления сдвигу [4, 7].

Таким образом, установлено, что главной частью движения дозирующей системы является периодический процесс, «навязываемый» упругой системе пластины-вибратора импульсами, повторяющимися в периодическом режиме.

Создание уплотненного ложа между семенами и удобрениями тоже было достигнуто при регулировании уплотненной прослойки при подаче на сошник вибрации до 20 – 40 Гц в зависимости от влажности почвы. При исходном состоянии почвы на уровне залегания зерна (взрыхленная культиватором почва) – 0,85 – 0,87 г/см³, вибрация сошника уплотнила почвенную прослойку до 1 – 1,1 г/см³ (рис. 1), что соответствует агротехническим требованиям, при которых семена не проваливаются ниже заданной глубины и появляющиеся на первой стадии проростки из эпидермиса хорошо укореняются (рис. 2).

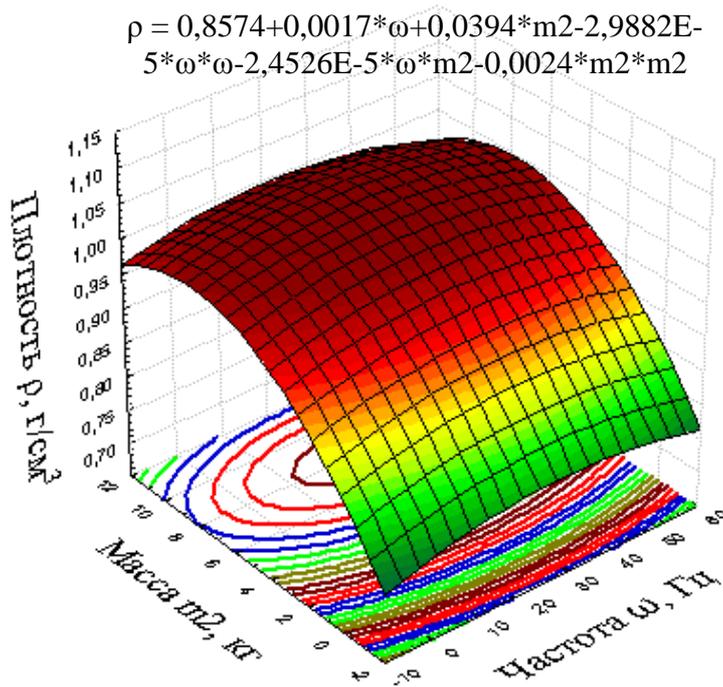


Рисунок 1 – Зависимость плотности почвы ρ (г/см³) в семенном ложе при изменении частоты вибрации

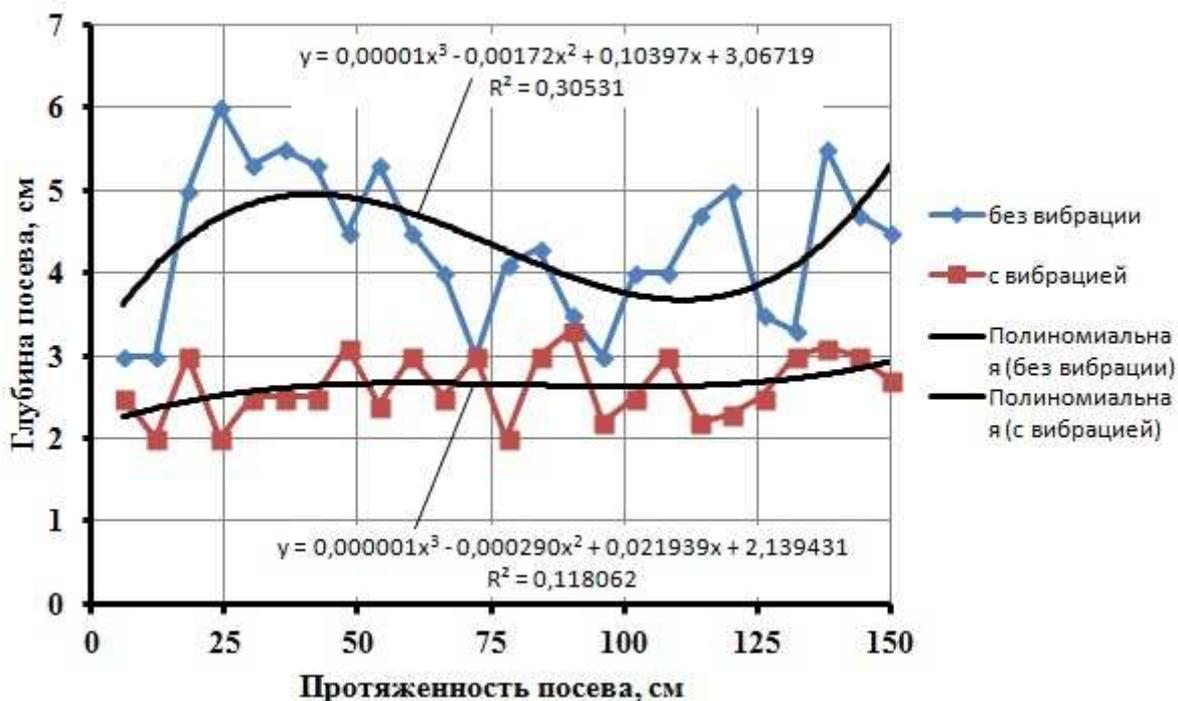


Рисунок 2 – Зависимости равномерности глубины посева с вибрацией и без нее

Визуальные различия всходов семян пшеницы с применением вибрации и без применения вибрации и представлены на рисунках 3 и 4.



Рисунок 3 – Всходы семян пшеницы с применением вибрации для создания управляемой плотности посевного ложа



Рисунок 4 – Всходы семян пшеницы без применения вибрации

На основании идентификации рассмотренных технологических процессов соответствующим алгоритмом и звеньям электрических аналогов были созданы принципиально новые технологические элементы: гидропневматическое регулирование глубины хода сошников с индивидуальным копированием рельефа почвы и их упругая подвеска на секционных брусках, многофункциональный механизм перевода машины из рабочего положения в тракторное за 1,5 мин; сменные рабочие органы для различных технологий посева (рядкового, подпочвенно-разбросного, бороздкового, гребневого и т.д.); вибрационный высевающий аппарат, а также ряд устройств для создания плотного ложа между семенами и удобрениями при неконтактном их внесении в почву.

При выполнении пилотных образцов в полевых условиях было получено повышение показателей исследуемых технологических процессов от 10 до 25%, снижение энергоемкости – до 30%.

Библиографический список

1. Прогноз развития фундаментальных исследований академического сектора науки до 2030 года. – М.: РАН, ИП РАН РАН 2017 – 177 с.
2. Пахомов, В.И. Опыт возделывания озимой пшеницы в условиях недостаточного увлажнения / В.И. Пахомов, В.Б. Рыков, С.И. Камбулов, Н.В. Шевченко, Е.Л. Ревякин. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 160 с.
3. Беспмятнова, Н.М. Колебания и вибрации в технологических процессах почвообрабатывающих и посевных машин и агрегатов / Н.М. Беспмятнова. – Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2008. – 224 с.
4. Беспмятнова, Н.М. Вибровысев сельскохозяйственных культур и удобрений / Н.М. Беспмятнова, Ю.А. Беспмятнов, В.В. Реутин, Ю.А. Семенихина. – Зерноград: СКНИИМЭСХ, 2015. – 234 с.
5. Хакен, Г. Синергетика / Г. Хакен. – Мир, 1980.
6. Беспмятнова, Н.М. Повышение эффективности посева трудносыпучих семян / Н.М. Беспмятнова, Ю.А. Семенихина // Техника в сельском хозяйстве – 2012. – №5. – С. 12 – 13.
7. Беспмятнова, Н.М. Методология создания единого вибровысевающего аппарата для семян и удобрений / Н.М. Беспмятнова, Ю.А. Беспмятнов, В.В. Реутин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2015. – № 113(09), ноябрь. – IDA [article ID]: 1131509004. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/09/pdf/04.pdf>, 0,813 у.п.л.* – С. 56 – 69.

References

1. Prognoz razvitija fundamental'nyh issledovanij akademicheskogo sektora nauki do 2030 goda. – M.: RAN, IP RAN RAN 2017 – 177 s.
2. Pahomov, V.I. Opyt vozdeľyvanija ozimoi pshenicy v uslovijah nedostatochnogo uvlazhnenija / V.I. Pahomov, V.B. Rykov, S.I. Kambulov, N.V. Shevchenko, E.L. Re-vjakin. – M.: FGBNU «Rosinformagroteh», 2015. – 160 s.
3. Bepamjatnova, N.M. Kolebanija i vibracii v tehnologicheskikh processah pochvoobrabatyvajushhih i posevnyh mashin i agregatov / N.M. Bepamjatnova. – Zernograd: VNIPTIMJeSH, 2008. – 224 s.
4. Bepamjatnova, N.M. Vibroysevy sel'skohozjajstvennyh kul'tur i udobrenij / N.M. Bepamjatnova, Ju.A. Bepamjatnov, V.V. Reutin, Ju.A. Semehina. – Zernograd: SKNIIM-JeSH, 2015. – 234 s.
5. Haken, G. Sinergetika / G. Haken. – Mir, 1980.
6. Bepamjatnova, N.M. Povyshenie jeffektivnosti vyseva trudnosypuchih se-mjan / N.M. Bepamjatnova, Ju.A. Semehina // Tehnika v sel'skom hozjajstve – 2012. – №5. – S. 12 – 13.
7. Bepamjatnova, N.M. Metodologija sozdaniya edinogo vibroysevajushhego aparata dlja semjan i udobrenij / N.M. Bepamjatnova, Ju.A. Bepamjatnov, V.V. Reutin // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU). – Krasnodar: KubGAU, 2015. – № 113(09), nojabr'. – IDA [article ID]: 1131509004. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2015/09/pdf/04.pdf>, 0,813 u.p.l.* – S. 56 – 69.