Миронов Евгений Борисович, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. Россия.*

Воронов Евгений Викторович, *канд. экон. наук, доцент кафедры «Технический сервис», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. Россия.*

Шишарина Анастасия Николаевна, *старший преподаватель кафедры «Техническое обслуживание, организация перевозок и управление на транспорте», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. Россия.*

606340, Нижегородская обл., г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22 А.

Тел.: (831) 664-15-50.

Ключевые слова: *защита противокоррозионная; ингибитор; коррозия; составы защитные; техника сельскохозяйственная; хранение.*

MODERN DEVELOPMENTS AND TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF AGRICULTURAL MACHINERY STORAGE

Mironov Evgeni Borisovich, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Technical Service", Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University. Russia.*

Voronov Evgeni Viktorovich, *Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the chair "Technical Service", Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University. Russia.*

Shisharina Anastasiya Nikolaevna, *Senior Teacher of the chair "Servicing, Arrangement of Transportation and Transport Management", Nizhniy Novgorod State Engineering and Economic University. Russia.*

Keywords: *corrosion protection; inhibitor; corrosion; protective composition; agricultural machinery; storage.*

The article discusses the problems that arise before the specialists of engineering and technical services of agro-industrial enterprises when storing agricultural equipment, and the leading domestic and foreign developments in the field of corrosion protection. Deficiencies in modern conservation technologies are considered and recommendations on how to solve them are given.

DOI

УДК 631.356.43

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ИНТЕНСИВНОЙ ЗОНЫ СЕПАРАЦИИ РОТАЦИОННОГО КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ

НИКИТИН Геннадий Сергеевич, *Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана*

АЛАКИН Виктор Михайлович, *Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана*

ПЛАХОВ Сергей Александрович, *Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований картофелекопателя с ротационной сепарирующей поверхностью. На основании анализа уже существующих конструкций и режимов их работы обосновываются основные конструктивные параметры роторов. Особое внимание уделяется определению кинематических параметров рабочих органов ротационного сепарирующего устройства. По результатам теоретических исследований установлено, что картофельный пласт устойчиво перемещается при скорости вращения ротационных секций 230 мин$^{-1}$. На основе анализа результатов экспериментальных исследований выявлено, что для достижения полноты сепарации примесей 89,7 % скорость вращения ротационных секций должна составлять 242 мин$^{-1}$.

Введение. Картофель является одной из самых распространенных сельскохозяйственных культур, выращиваемых как в России, так и во всем мире. В настоящее время для его уборки в основном используют картофелекопатели, картофелекопатели-погрузчики и картофелеуборочные комбайны [4, 10].

Основным рабочим органом любой картофелеуборочной машины является сепарирующее устройство. Оно предназначено для перемещения и крошения картофельного пласта, сепарации почвы и отделения клубней от примесей. На данный момент наиболее распространенным сепарирующим устройством является прутковый элеватор [3, 5]. Его основными преимуществами являются универсальность применения, а также возможность одновременной сепарации и транспор-

тирования клубненосного пласта под углом до 25°. Однако наряду с этими положительными качествами прутковый элеватор обладает и рядом существенных недостатков. К ним относятся: сравнительно малое живое сечение, недостаточное рассредоточение и крошение картофельного пласта, низкая интенсивность выделения влажной суглинистой почвы, наличие большого количества поверхностей трения, значительная металло- и энергоемкость [3, 7].

Одним из вариантов повышения технологической эффективности картофелеуборочных машин является использование в качестве сепарирующих устройств ротационных рабочих поверхностей [7, 8, 9]. По сравнению с существующими аналогами они обладают рядом существенных преимуществ. К их числу можно отнести: высокую сепарирующую способность, низкую энерго- и металлоемкость, а также большой срок службы и низкую степень травмирования клубней [8, 9, 12].

Цель исследования заключается в определении рациональной скорости вращения основных рабочих органов зоны интенсивной сепарации ротационного картофелекопателя, обеспечивающей устойчивое перемещение и интенсивную сепарацию картофельного пласта.

Методика исследований. На основании результатов аналитических исследований, проведенных в Калужском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана, был спроектирован и изготовлен экспериментальный образец ротационного картофелекопателя (рис. 1). В качестве основы была выбрана рама серийного картофелекопателя КСТ-1,4А.

Отличительной особенностью данного картофелекопателя является совмещение в его конструкции ротационного сепаратора и лопастного битера. Сепарирующее устройство состоит из набора параллельно расположенных и вращающихся в одном направлении валов, на которые устанавливаются роторы и распорные втулки. Каждый вал с данными рабочими органами представляет собой отдельную секцию сепаратора. Соседние секции устанавливаются друг за другом без перекрытия роторов соседних рядов. За счет этого обеспечивается возможность их смещения (посредством изменения длины распорной втулки) для изменения величины сепарирующих просветов (см. рис. 1).

В результате проведения теоретических исследований были установлены основные конструктивные параметры роторов и режимы работы лопастного битера [1, 2]. Ротор представляет собой дисковое основание (с посадочным отверстием квадратного сечения), на котором под углом располагаются восемь выступов скругленной формы. В ходе исследований внешний диаметр ротора был принят равным 300 мм, длина выступов 130 мм, их наклон и радиус скругления соответственно 28,5° и 120 мм [1, 2]. Также было выявлено, что при скорости работы картофелекопателя $V_к$ = 1,1...1,7 м/с рациональные значения скорости вращения битера $\omega_б$, обеспечивающие предварительное разрушение структуры картофельного пласта и его устойчивую подачу на вершины первого ряда рабочих органов, должны составлять 300–330 мин$^{-1}$ [1, 2].

При выполнении обзора научных работ [7–9, 12] было установлено, что струк-

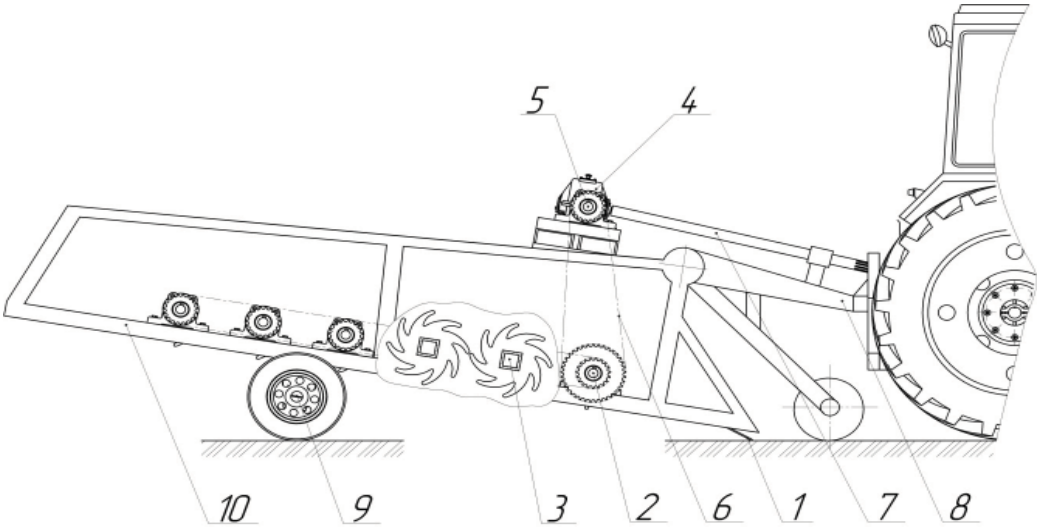

Рис. 1. Схема картофелекопателя ротационного типа: 1 – лемех, 2 – приемный битер, 3 – ротационный сепаратор, 4 – угловой редуктор, 5 – промежуточный вал, 6 – цепная передача, 7 – карданный вал, 8 – прицепное устройство к трактору, 9 – опорные колеса, 10 – рама

тура и объем картофельного пласта в значительной степени влияют на устойчивость его перемещения по ротационным сепарирующим поверхностям, а также определяют интенсивность выделения почвенных примесей. Согласно [7, 8], именно на первых трех секциях ротационного сепаратора просеивается наибольшее количество почвенных примесей (до 65 %), а транспортирование картофельного пласта происходит связанным слоем. На данном участке сепарирующей поверхности обозначим его как зону интенсивной сепарации, процессы перемещения и сепарации осуществляются в наиболее сложных условиях. На последующих двух секциях выделение примесей снижается до 18 %, а движение компонентов картофельного вороха начинает происходить по отдельности [9, 12]. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что эффективность работы ротационного картофелекопателя будет в значительной степени зависеть от скорости вращения роторов первых трех секций.

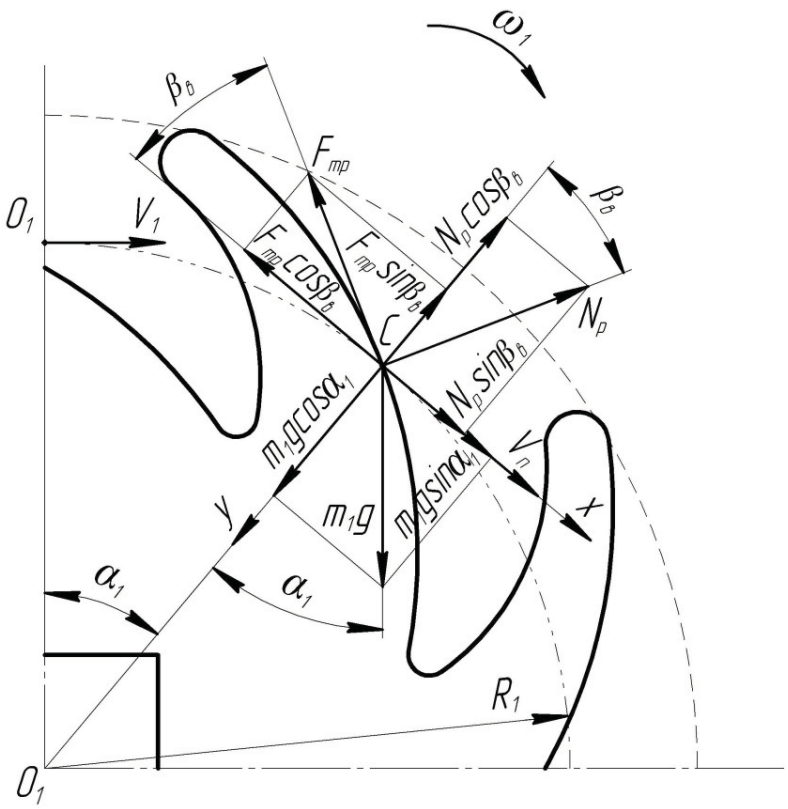

Рис. 2. Схема сил, действующих на часть картофельного пласта, находящегося на выступе ротора

В качестве главного условия устойчивости процессов транспортирования и сепарации картофельного пласта ротационным сепаратором приняли вариант безотрывной траектории движения его компонентов. Согласно [1, 2], за счет этого должна возрасти просеиваемость почвы, снизиться энергоемкость картофелеуборочной машины, повреждаемость картофеля, а также нагрузка и износ рабочих органов сепаратора.

Для исследования процесса перемещения части картофельного пласта в зоне интенсивной сепарации построим схему сил, действующих на часть картофельного пласта, находящегося на выступе ротора (рис. 2).

Для обеспечения безотрывной траектории движения картофельного пласта угол схода его части с рабочих органов первой секции α_1 должен составлять 36–42°. В данном случае, согласно схеме сил (см. рис. 2), присутствует только одна односторонняя связь. Поэтому для определения скорости вращения рабочих органов первых трех секций воспользуемся уравнением Эйлера.

В момент попадания на секцию сепаратора картофельный пласт обладает значительной толщиной и начальной скоростью. Следовательно, на перемещение его верхнего слоя, обладающего небольшой плотностью, центробежная сила инерции практически не повлияет. Исходя из этого, в интенсивной зоне сепарации реакцией ее связи можно пренебречь.

Спроецируем все силы, действующие на часть перемещаемого пласта, на оси x и y (см. рис. 2).

$$\begin{cases} m_1 \dfrac{d^2S}{dt^2} = m_1 g \sin\alpha_1 - F_{тр}\cos\beta_в + N_p \sin\beta_в, \\ \dfrac{m_1 V_п^2}{R_1} = m_1 g \cos\alpha_1 - F_{тр}\sin\beta_в - N_p \cos\beta_в, \end{cases} \quad (1)$$

где m^1 – масса части картофельного пласта, кг; S – траектория движения; g – ускорение свободного падения, м/с^2; α_1 – угол схода части картофельного вороха с пальца ротора, град; $F_{тр}$ – сила трения скольжения, Н; $\beta_в$ – угол наклона пальца ротора, град; $N_р$ – сила реакции поверхности выступа ротора, Н; $V_п$ – скорость движения части картофельного вороха по первой секции сепаратора, м/с; R_1 – расстояние от центра ротора до середины выступа, м.

Траектория движения части картофельного пласта по поверхности выступа ротора имеет вид

$$S = O_1C = R_1\alpha_1. \quad (2)$$

Значение модуля силы реакции Np (до момента отрыва) выразим из второго уравнения системы (1):

$$N_p = \frac{m_1 g R_1 \cos\alpha_1 - m_1 V_n^2}{R_1(\cos\beta_в + f_p \sin\beta_в)}, \qquad (3)$$

где f_p – коэффициент трения скольжения клубней по резине.

В момент отделения части пласта, находящегося между двумя выступами ротора, ее реакция связи N_p будет равняться нулю. Исходя из этого, определим скорость схода пласта $V_п$ из второго уравнения системы (1):

$$V_п^2 = gR_1 \cos\alpha_1. \qquad (4)$$

Скорость пласта $V_п$ можно также определить из первого уравнения системы (1). Для этого необходимо перевести ее из второй степени в первую. Причем за начало отсчета дуговой координаты S примем положение пласта при угле поворота $\alpha_1 = 0°$. Решая, с учетом (2) и (3), получившееся дифференциальное уравнение, получаем:

$$V_п^2 = V_0^2 + 2R_1 g\cos\alpha_1. \qquad (5)$$

Приравняем уравнения (4) и (5):

$$R_1 g\cos\alpha_1 = V_0^2 + 2R_1 g - 2R_1 g\cos\alpha_1. \qquad (6)$$

Из получившегося выражения (6) найдем минимальное значение начальной скорости части картофельного пласта V_{0min}:

$$V_{0\min} = \sqrt{R_1 g(3\cos\alpha_1 - 2)}. \qquad (7)$$

Подставляя в уравнение (7) R_1 = 0,12 м, $\alpha_1 = 42°$, определяем, что величина V_{0min} = 1 м/с. Очевидно, что реальное значение начальной скорости V_0 больше и соответствует скорости схода части картофельного пласта с лопасти битера, т.е. V_0 = 2,3 м/с. Исходя из этого скорость схода части пласта с поверхности выступа ротора будет равняться:

$$V_n = \sqrt{V_0^2 + 2R_1 g(1 - \cos\alpha_1)}. \qquad (8)$$

Следовательно, скорость вращения роторов ω_1 должна быть больше или равна

$$\omega_1 \geq \frac{V_n}{R_1}. \qquad (9)$$

Для подтверждения полученных теоретических результатов были проведены экспериментальные исследования ротационного картофелекопателя в полевых условиях. Опыты проводили в соответствии с программой планирования и методикой проведения многофакторного эксперимента [1]. Это позволило исследовать процесс работы ротационного картофелекопателя при различных условиях и сочетаниях кинематических параметров.

В качестве критерия оптимизации была выбрана полнота сепарации примесей $S_с$, которая является главной величиной, определяющей качество работы картофелеуборочных машин. В качестве основных кинематических параметров ротационного картофелекопателя были выбраны:

скорость движения ротационного картофелекопателя $V_к$, м/с;

скорость вращения приемно-подающего битера $\omega_б$, мин$^{-1}$;

скорость вращения ротационных рабочих органов $\omega_р$, мин$^{-1}$.

Результаты исследований. Из уравнения (8) находим, что при скорости подачи материала четырех лопастным битером 2,3 м/с скорость схода части картофельного вороха с поверхности выступа $V_п$ равняется 2,5 м/с. На основании этого получаем, что скорость вращения ротационных рабочих органов зоны интенсивной сепарации ω_1 должна быть больше либо равна 230 мин$^{-1}$. Данное значение ω_1 обеспечит устойчивость процесса перемещения картофельного вороха ротационным сепаратором, а также снизит количество растительных остатков наматывающихся на роторы и распорные втулки.

По результатам проведения экспериментальных исследований было составлено уравнение, описывающее зависимость полноты сепарации примесей $S_с$ от основных кинематических параметров ротационного картофелекопателя:

$$S_с = 149{,}4V_к + 2{,}9\omega_б + 1{,}5\omega_р - 57{,}7V_к^2 - 0{,}005\omega_б^2 - 0{,}003\omega_р^2 - 626{,}5. \qquad (10)$$

На основе анализа полученного уравнения (10) определяем, что на полноту сепарации примесей $S_с$ наибольшее влияние оказывают скорость движения ротационного картофелекопателя $V_к$ и скорость вращения ротационных рабочих органов $\omega_р$. Причем для обеспечения максимальной полноты сепарации примесей $S_с$ = 89,7 % (при оптимальных значениях скорости вращения битера $\omega_б$ = 300...330 мин$^{-1}$) скорость движения ротационного картофелекопателя $V_к$ должна равняться 1,3 м/с, а скорость вращения ротационных рабочих органов $\omega_р$ = 242 мин$^{-1}$.

Заключение. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований были сделаны выводы о том, что при полученных значениях основных кинематических параметров $V_к$ = 1,3 м/с и

ω_p = 242 мин$^{-1}$ обеспечивается высокая сепарирующая способность картофелекопателя (S_c = 89,7 %), а также устойчивость процессов приема и перемещения картофельного пласта по ротационной сепарирующей поверхности. Все это привело к увеличению, относительно базовой модели КСТ-1,4А, эксплуатационной производительности ротационного картофелекопателя до 0,607 га/ч, снижению удельного расхода топлива до 11,9 кг/ч и уменьшению повреждаемости клубней до 1,4–2,0 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алакин В.М., Никитин Г.С.* Картофелекопатель с ротационной сепарирующей поверхностью // Картофель и овощи. – 2018. – № 5. – С. 32–34.

2. *Алакин В.М., Никитин Г.С.* Результаты исследований технологического процесса картофелекопателя // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12. – № 5. – С. 14–19.

3. *Кленин Н.И., Киселев С.Н., Левшин А.Г.* Сельскохозяйственные машины. – М.: КолосС, 2008. – С. 655–670.

4. Машинные технологии и техника для производства картофеля / С.С. Туболев [и др.]; под общ. ред. Н.Н. Колчина. – М.: Агроспас, 2010. – С. 176–188.

5. Машиностроение. Энциклопедия. Сельскохозяйственные машины и оборудование / И.П. Ксеневич [и др.]; под общ. ред. И.П. Ксеневича. – Т. IV. – М.: Машиностроение, 2002. – С. 288–298.

6. Основы проектирования и расчет сельскохозяйственных машин / Л.А. Резников [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1991. – С. 428–446.

7. *Остроумов С.С., Кузьмин А.В.* К выбору рациональных параметров роторного сепаратора картофелекопателя // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 9. – С. 182–187.

8. *Остроумов С.С., Кузьмин А.В.* Обоснование параметров ротора сепаратора картофелеуборочной машины // Вестник ИрГСХА. – 2015. – № 66. – С. 117–123.

9. *Остроумов С.С.* Результаты полевых испытаний нового картофелеуборочного комбайна // Вестник ИрГСХА. – 2009. – № 36. – С. 86–92.

10. *Халанский В.М., Горбачев И.В.* Сельскохозяйственные машины. – М.: КолосС, 2004. – С. 422–431.

11. *Allan L. Jensen, Claus G. Sorensen, Dionysis Bochtis, Zhou Kun.* Performance of machinery in potato production in one growing season // Spanish journal of agricultural research, 2015; No. 3(0215): 12–32.

12. *Yong Ying Sang, Hua Li Yu, Jing Xia Jia.* Parametric Modeling and Moving Simulation of Vibrating Screen and Tubers on Potato Harvester // Applied Mechanics and Materials, 2012; August 2012: 627–632.

Никитин Геннадий Сергеевич, *ассистент кафедры М6-КФ «Колесные машины и прикладная механика», Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана. Россия.*

Алакин Виктор Михайлович, *канд. техн. наук, доцент кафедры М6-КФ «Колесные машины и прикладная механика», Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана. Россия.*

Плахов Сергей Александрович, *канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры М6-КФ «Колесные машины и прикладная механика», Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана. Россия.*

248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2.

Тел.: (4842) 74-40-32.

Ключевые слова: *картофель; картофельный пласт; уборка; ротационный картофелекопатель; ротационная сепарирующая поверхность; ротационные рабочие органы; ротор; лопастной битер; производительность; надежность; энергоемкость; материалоемкость.*

DETERMINATION OF THE RATIONAL ROTATION SPEED OF THE INTENSIVE SEPARATION ZONE ROTORS OF A ROTARY POTATO DIGGER

Nikitin Gennadiy Sergeevich, *Assistant of the chair M6-KF "Wheeled Vehicles and Applied Mechanics", Kaluga Branch of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman. Russia.*

Alakin Viktor Mikhailovich, *Candidate of Technical Science, Associate Professor of the chair M6-KF "Wheeled Vehicles and Applied Mechanics", Kaluga Branch of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman. Russia.*

Plahov Sergey Aleksandrovich, *Candidate of Technical Science, Senior Teacher of the chair M6-KF "Wheeled Vehicles and Applied Mechanics", Kaluga Branch of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman. Russia.*

Keywords: *potato; potato layer; harvesting; rotary potato digger; rotary separation web; rotary working bodies; rotor; 4-bladed beater; productivity; reliability; energy intensity; material consumption.*

Research and experimental results of a potato digger with a rotary separating web are published in this article. The main design characteristics of the rotors are justified by analysis of existing constructions and their working processes. Special attention is paid to definition of rotational speed of the rotors of the rotary separation web. Theoretical researches have determined that potato layer moves steadily while rotational speed of rotary working bodies equals 230 rpm. Results of experimental researches demonstrate that the rotary separation web removes 89,7% impurities while rotational speed of rotary working bodies equals 242 rpm.