

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЯ С НОВОЙ РОТАЦИОННОЙ СЕПАРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

НИКИТИН Геннадий Сергеевич, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

АЛАКИН Виктор Михайлович, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

ПЛАХОВ Сергей Александрович, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Приводятся результаты экспериментальных исследований ротационного картофелекопателя. Главная задача заключается в опытной проверке полученных теоретическим путем кинематических параметров предлагаемой конструкции. Особое внимание уделяется определению оптимальных режимов работы ротационной сепарирующей поверхности. На основании анализа результатов экспериментальных исследований определяются рациональные кинематические параметры ротационного картофелекопателя.

Введение. Уборка урожая большинства сельскохозяйственных культур и особенно картофеля продолжает оставаться наиболее трудоемким этапом производства и может составлять до 60 % всех материальных и трудовых затрат [4]. Дополнительные трудности в период уборки картофеля вносят нестабильные и зачастую неблагоприятные погодные условия, которые приводят к повышению структурной плотности, липкости и комковатости суглинистых почв [3, 4]. В то же время применение новых биотехнологий и комплексных технологий возделывания способствует повышению урожайности картофеля и подразумевает необходимость сбора всего биологического урожая.

Применяемые на этапе уборки картофелеуборочные комбайны, копатели и другие технологические машины не могут в полной мере обеспечить требуемые агротехнические показатели, в том числе по производительности, материало-энергоемкости, износостойкости и степени механических повреждений клубней. Следствием чего является увеличение затрат, снижение урожайности и рентабельности производства картофеля [4].

Основным, наиболее нагруженным элементом любой картофелеуборочной машины является сепарирующее устройство (сепаратор), где происходит отделение клубней от примесей и почвы. Конструктивные особенности и режимы работы сепаратора в значительной степени и определяют технико-экономические показатели картофелеуборочной машины в целом. В настящее время все чаще находят применение различные конструкции сепараторов ротационного типа, причем не только в качестве доочистительных устройств, но и в качестве основных рабочих органов. Это обусловлено их высокой сепарирующей эффективностью, невысокой металлоем-

костью и энергоемкостью, благодаря ограниченному количеству пар трения в рабочих органах, большому просеивающему сечению и высокой удельной производительности [2, 7]. Поэтому разработка и применение новых ротационных сепараторов, в том числе для модернизации существующих картофелеуборочных машин, является перспективным направлением [2, 12].

Цель исследования заключается в определении рациональных значений кинематических параметров ротационного картофелекопателя, обеспечивающих устойчивое перемещение и интенсивную сепарацию картофельного пласта при минимальной степени травмирования клубней.

Методика исследований. На основании результатов проведенных аналитических исследований в Калужском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана также был разработан и изготовлен экспериментальный образец картофелекопателя с новой ротационной сепарирующей поверхностью, состоящей из нескольких ротационных рабочих секций (рис. 1) [1].

Каждая секция представляет собой набор поочередно установленных роторно-пальцевых рабочих органов и распорных регулируемых втулок. Расположение соседних секций без перекрытия роторов, т.е. друг за другом, обеспечивает возможность регулирования сепарирующего просвета путем изменения толщины распорных втулок. При проведении экспериментальных исследований величина данного просвета была установлена равной 25 мм, что соответствует минимальному товарному размеру клубней. Технологический зазор между двумя рабочими секциями составляет 10 мм.

В предлагаемом картофелекопателе сепарирующая поверхность образуется с помощью пяти ротационных секций, установленных под углом 10°. Такая компоновка обеспечивает интенсивное разрушение и просеивание почвенных примесей при ми-



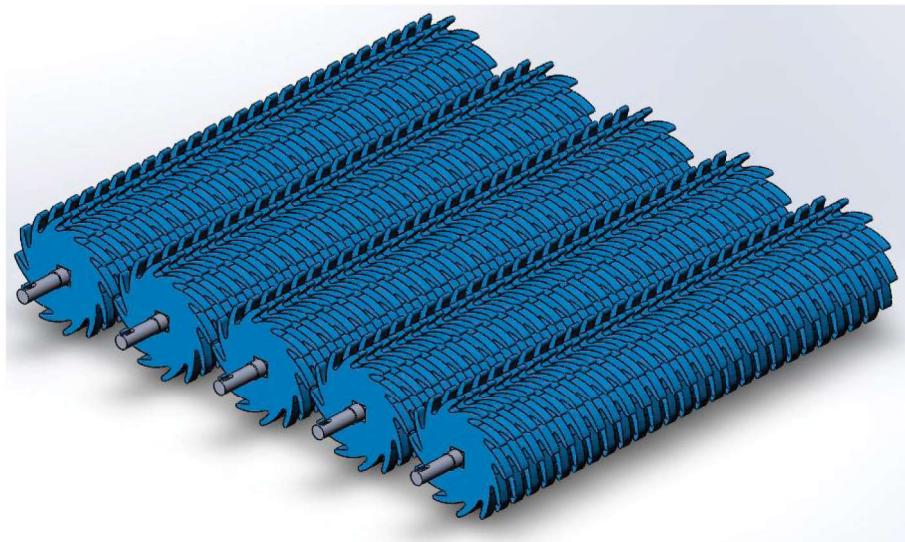


Рис. 1. Сепарирующая поверхность ротационного типа

нимальной степени травмирования клубней [7, 8]. Непосредственно сама сепарирующая поверхность разделяется на две рабочие зоны. Первая – зона интенсивной сепарации, в нее входят первые три рабочие секции. Из-за наличия большого количества непросеянных почвенных примесей движение картофельного пласта на данном участке будет происходить связанным слоем. Вторая – зона окончательной очистки, в нее входят оставшиеся две рабочие секции. Количество почвенных примесей на данном участке не превышает 40 %, вследствие чего компоненты картофельного вороха будут перемещаться по роторам по отдельности и с небольшим отрывом.

В ходе теоретических исследований были определены основные конструктивные параметры ротационных рабочих органов, обеспечивающие им наилучшие технико-экономические показатели: внешний диаметр $D_p = 300$ мм; толщина $B = 25$ мм; общее количество выступов $N_b = 8$ шт., угол наклона выступов $\beta_b = 28,5^\circ$ [2, 10]. Также была выявлена необходимость установки перед сепаратором регулируемого приемно-подающего битера (с внешним диаметром $D_b = 250...350$ мм), который обеспечит устойчивое перемещение картофельного пласта с лемехов на первую рабочую секцию [2].

Проведенные теоретические исследования также позволили определить рациональные режимы совместной работы предлагаемого ротационного сепаратора и приемно-подающего битера. При скорости движения картофелекопателя $v_k = 1,1...1,7$ м/с частота вращения битера n_b должна составлять $277...339$ мин $^{-1}$, частота вращения рабочих секций первой зоны $n_1 = 220...260$ мин $^{-1}$ и второй $n_4 = 200...230$ мин $^{-1}$ [9, 10].

Для подтверждения полученных теоретических результатов были проведены экспериментальные исследования картофелекопателя с ротационной сепарирующей поверхностью в полевых условиях. Их цель заключалась в определении основных эксплуатационных характеристик ротационного картофелекопателя на основе анализа его сепарирующей способности и повреждаемости картофеля.

Опыты проводились на производственной базе ФГБНУ «Калужский Научно-Исследовательский Институт Сельского Хозяйства» в 2018–2020 г. Для этого были выбраны участки полей со средними суглинистыми и серыми лесными почвами. Картофель сортов Удача, Калужский и Ред-Скарлетт располагался в рядках высотой 21 см и с междуурядьем 75 см. Уборка картофеля проводились в начале сентября, в сухую погоду и при средней температуре воздуха $14...16$ °C. Влажность почвы составляла 9,3...12,8 %, а твердость 0,39...0,44 МПа. Средняя урожайность достигала 27,5 т/га.

Полнота сепарации примесей S_c была выбрана в качестве исследуемого параметра, т.к. она является наиболее важной величиной определяющей качество работы картофелеуборочных машин. В то же время основными кинематическими характеристиками ротационного картофелекопателя являются:

скорость движения v_k , м/с;

частота вращения приемно-подающего битера n_b , мин $^{-1}$;

частота вращения ротационных рабочих органов n_p , мин $^{-1}$.

Результаты исследований. В ходе экспериментальных исследований скорость движения ротационного картофелекопателя v_k поочередно устанавливали равной 1,1 м/с; 1,4 м/с; 1,7 м/с.

При частоте вращения битера $n_b = 270$ и роторов обеих зон сепарации $n_p = 200$ мин $^{-1}$ картофельный пласт сгруживался перед первой ротационной секцией, из-за чего происходило его неравномерное перемещение на рабочую поверхность. Все это, в совокупности с небольшой окружной скоростью роторов, приводило к перегрузке сепарирующих просветов в зоне интенсивной сепарации, из-за чего увеличивалось количество неразрушенных почвенных комков в зоне окончательной очистки и соответственно при сходе с последней секции сепаратора (рис. 2). Следствием чего стала небольшая полнота сепарации примесей S_c картофелекопателем, которая при

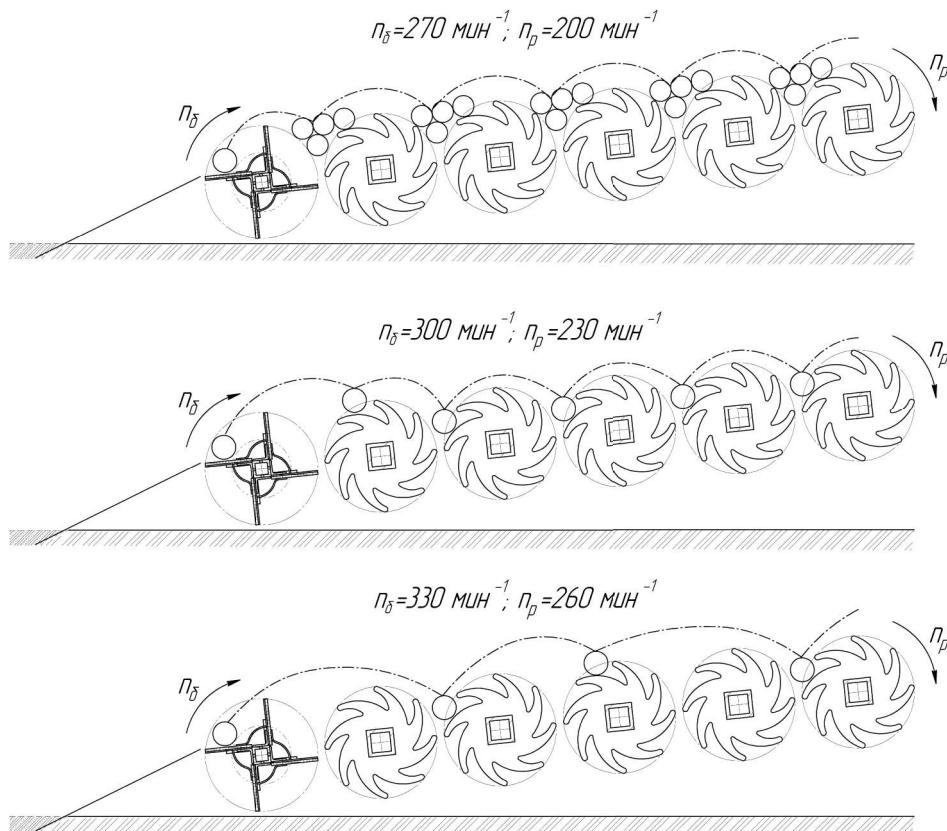


Рис. 2. Траектории перемещения картофельного пласта при изменении частоты вращения битера n_b и роторов n_p

данных кинематических параметрах колебалась от 71 до 78 % (рис. 3).

Опыты показали, что повреждаемость клубней в основном зависит от скорости движения ротационного картофелекопателя v_k и от частоты вращения рабочих секций n_p . При $v_k = 1,1 \dots 1,7 \text{ м/с}$ и $n_p = 200 \text{ мин}^{-1}$ ротационная поверхность обеспечивала низкую интенсивность сепарации и небольшую скорость перемещения картофельного пласта. Из-за чего увеличилось количество соударений его компонентов между собой и с поверхностями роторов, что в свою очередь привело к степени травмирования клубней от 1,4 до 1,8 %.

С увеличением частоты вращения битера n_b до 300 мин^{-1} и роторов обеих зон сепарации n_p до 230 мин^{-1} , при тех же значениях скорости движения v_k , повысилась и устойчивость перемещения картофельного пласта всеми рабочими органами картофелекопателя.

Лопастной битер равномерно принимал с лемехов и передавал подкопанный пласт на сепарирующую поверхность. Последняя, в свою очередь, распределяла его компоненты по своей ширине и перемещала их без сгруживания. За счет этого резко возросла интенсивность разрушения и просеивания почвенных примесей, что привело к увеличению полноты сепарации S_c до 86 %. Причем клубни и неразрушенные комки перемещались в зоне окончательной очистки с минимальным отрывом от поверхностей роторов и без перебрасывания через рабочие секции

(см. рис. 2). Следствием этого стало лишь незначительное повышение повреждаемости картофеля до 1,6...2,1%, в зависимости от установленной скорости движения картофелекопателя v_k .

Дальнейшее увеличение частоты вращения битера n_b до 330 мин^{-1} и роторов обеих зон сепарации n_p до 260 мин^{-1} при скорости движения картофелекопателя $1,1 \text{ м/с}; 1,4 \text{ м/с}; 1,7 \text{ м/с}$ приводило к чрезмерному динамическому воздействию активных рабочих органов на картофельный пласт. В ходе опытов лопастной битер перебрасывал его через первую секцию сепаратора. Ротационные

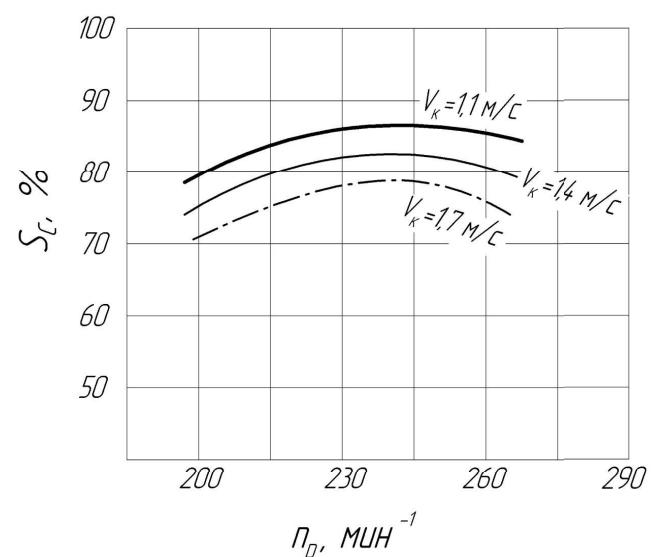


Рис. 3. Зависимость полноты сепарации примесей S_c от частоты вращения роторов n_p



рабочие органы также оказывали значительное динамическое воздействие на компоненты картофельного пласта, что привело к снижению количества почвенных примесей переходящих из зоны интенсивной сепарации в зону окончательной очистки. Поэтому в зоне окончательной очистки наблюдалось перемещение клубней и неразрушенных почвенных комков со значительным отрывом от роторов (см. рис. 2).

В данных условиях полнота сепарации примесей достигала 84,7 % (см. рис. 3). В тоже время существенно увеличилась и повреждаемость клубней, которая составила 2,4...2,7 %.

Заключение. В результате проведения экспериментальных исследований были подтверждены полученные теоретическим путем значения кинематических параметров ротационного картофелекопателя. Опыты показали, что для достижения максимальной полноты сепарации примесей $S_c = 89,7 \%$ скорость движения ротационного картофелекопателя v_k , частота вращения битера n_b и ротационных рабочих органов n_p должны находиться в пределах 1,2...1,4 м/с; 300...330 мин⁻¹; 230...250 мин⁻¹ соответственно. Также была установлена максимальная степень травмирования клубней (2,7 %), которая не превышает значений, предъявляемых агротехническими требованиями к картофелеуборочным машинам.

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. Машины технологии и техника для производства картофеля / С.С. Туболов [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. Никитин Г.С. Повышение эффективности рабочего процесса картофелекопателя путем обоснования параметров и режимов ротационного сепаратора: дис. ... канд. техн. наук / Г.С. Никитин. – Калуга, 2019. – 166 с.
11. Allan L. Jensen, Claus G. Sorensen, Dionysis Bochitis, 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, канд. техн. наук, доцент кафедры М6-КФ «Колесные машины и прикладная механика», КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Россия.

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

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

248921, г. Калуга, д. Желыбино, пер. Солнечный, 29. Тел.: +7 (910) 863-26-77; e-mail: main.port@inbox.ru.

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

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE POTATO DIGGER WITH NEW ROTARY SEPARATING SURFACE

Nikitin Gennadiy Sergeevich, Candidate of Technical Science, Associate Professor of the chair M6-KF "Wheeled Vehicles and Applied Mechanics", The 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", The Kaluga Branch of the Moscow state technical university named after N.E. Bauman. Russia.

Plahov Sergey Aleksandrovich, Candidate of Technical Science, Associate Professor of the chair M6-KF "Wheeled Vehicles and Applied Mechanics", The 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.

Results of experimental studies of the potato digger with rotary separating web are published in this article. The main challenge is experiment testing of the kinematic parameters of the proposed design which were calculated theoretically. Special attention is paid to definition of optimal operating modes of the rotary separation web. Rational kinematic parameters of the potato digger are determined by the analysis of the results of experimental studies.

