

УДК 631.562+635.21.534

DOI 10.18286/1816-4501-2019-2-6-13

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Дорохов Алексей Семёнович, доктор технических наук, член-корреспондент РАН
Аксенов Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
Сибирёв Алексей Викторович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5, тел. 8 (499)-174-89-11;
e – mail: sibirev2011@yandex.ru

Ключевые слова: картофель, корнеплод, лук, очистка, ультразвук, многофакторный эксперимент, исследования, частота, интенсивность, установка.

Выпускаемые в настоящее время машины для уборки корнеплодов и лука выполняют процессы по известным отработанным схемам, имеющим свои традиционные недостатки, поэтому такие машины изначально не могут качественно выполнять технологический процесс уборки. Попытки применения для механизации уборки машин выкапывающего типа (картофелекопателей, картофелеуборочных комбайнов, копателей корнеплодов и других овощных культур) из-за тяжелых по механическому составу почв и плохого качества сепарации не получили широкого распространения. Для устранения указанных выше недостатков для очистки корнеплодов, картофеля и луковиц предложен способ ультразвукового воздействия, интенсифицирующий процесс очистки корнеплодов от почвенных примесей на завершающей стадии обработки корнеплодов, картофеля и лука. В статье представлено приборное обеспечение для проведения исследований технологических параметров ультразвукового воздействия на качество процесса очистки корнеплодов от почвенных примесей, приведены методика и результаты лабораторных исследований ультразвукового воздействия в процессе очистки клубней картофеля сорта «Ред Скарлет», определены оптимальные параметры воздействия ультразвука, интенсифицирующего процесс очистки корнеплодов от почвенных примесей. Результаты проведенных сравнительных лабораторных исследований очистки клубней картофеля от различных по физико-механическому составу почвенных примесей (супесчаные и суглинистые почвы) позволяют сделать вывод о том, что наилучшие показатели интенсификации ультразвукового воздействия с повышением полноты очистки клубней v от 7,2 % до 19,5 % при нанесенных на клубень супесчаных почвенных примесей с массой от 50 г до 250 г со средним шагом повышения $v = 2,3$ %, обеспечиваются при значении технологических параметров $f_1 = 48$ кГц, $S = 42$ Вт/см². Полнота очистки клубней картофеля от суглинистых почв при идентичных значениях технологических параметров при ультразвуковом воздействии не обеспечивает удовлетворительную полноту очистки.

Работа выполнена при государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК – 4002.2018.8

Введение

В России овощи на промышленной основе в основном возделывают на юге страны - в Краснодарском и Ставропольском краях, в Ростовской области. Повсеместно в России посевы овощей сокращаются. Это объясняется высокими

затратами на их производство [1, 2, 3, 4], особенно на уборку, что при общем дефиците ручного труда приводит к сокращению площадей, нарушению технологии возделывания и уборки и, соответственно, к снижению урожайности. Уровень механизации уборки овощных культур

значительно отстает от уровня механизации их возделывания [5, 6]. При этом противопоказанием также являются значительные затраты труда на послеуборочную доработку продукции из-за некачественной предварительной обрезки ботвы и высокого содержания примесей в ворохе. Кроме того, механизированное производство корнеплодов и лука сопровождается негативным экологическим воздействием на окружающую среду, которое проявляется в увеличении количества эрозионно-опасных частиц почвы под воздействием рабочих органов, выносе плодородного слоя почвы совместно с товарной продукцией при уборке корнеплодов и лука, а также уплотнении почвенного слоя ходовыми системами машинно-тракторных агрегатов [6, 7], что приводит к поступлению на сепарирующие рабочие органы уборочных машин плотных почвенных комков, которые являются трудноотделимыми на устройствах первичной и вторичной очистки.

Наиболее перспективным из известных способов снижения содержания почвенных комков при машинной уборке корнеплодов следует считать предуборочное увлажнение слоя почвы в зоне расположения корнеплодов [5]. Это обусловлено тем, что при реализации такого способа содержание почвенных примесей при уборке корнеплодов незначительно и не превышает 12 %, причем почвенные комки практически отсутствуют.

Однако мелкодисперсный распыл воды, даже под давлением, не способен обеспечить мгновенное поступление влаги на глубину залегания корнеплодов и тем более увлажнить почву до состояния, обеспечивающего в дальнейшем интенсификацию процесса разделения корнеплодов от соизмеримых с ними почвенных комков. Данное обстоятельство вызвано тем, что процесс распыла воды над поверхностью поля в месте извлечения корнеплодов из почвы и сепарации происходит непосредственно в момент уборки корнеплодов. Вследствие того, что промежуток времени от увлажнения почвы до извлечения корнеплода из почвы небольшой, то влажность почвы, необходимая для уменьшения прочности почвенных комков, подвергающихся в дальнейшем сепарации на очистительных устройствах уборочной машины, не обеспечивается. Для устранения данного недостатка необходимо интенсифицировать процесс распыления воды одним из способов физического воздействия, обеспечивающим мгновенное увлажнение почвы на глубину залегания корне-

плода.

Известно, что передаваемая в жидкость энергия тратится на кавитационные процессы, приводящие к измельчению частиц материалов. Данные процессы связаны друг с другом. С одной стороны, для разрушения частиц необходимо создать высокое давление в жидкости и обеспечить наличие частиц почвы в области этого высокого давления. С другой стороны, наличие значительного количества частиц почвы в жидкости, изменяя её свойства, приводит к изменению давления при одних и тех же параметрах ультразвуковой установки и, таким образом оказывает влияние на интенсивность кавитационных процессов.

Объекты и методы исследований

Для определения технологических параметров ультразвукового воздействия на качество процесса очистки корнеплодов от почвенных примесей были проведены исследования на ультразвуковом оборудовании (рис. 1), представляющем собой единый комплекс, состоящий из генератора УЗГ-2К, пьезокерамического излучателя ПИ – 1,4 – 2.2 (кольцевого) и погружной ванны, выполненной из радиопрозрачного материала.

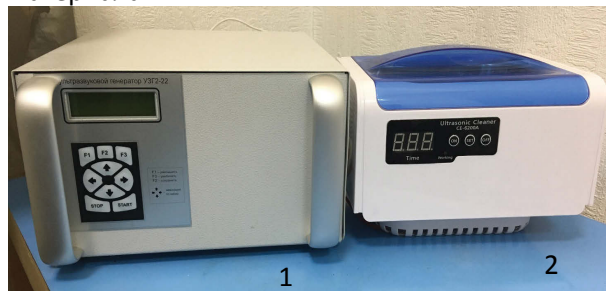


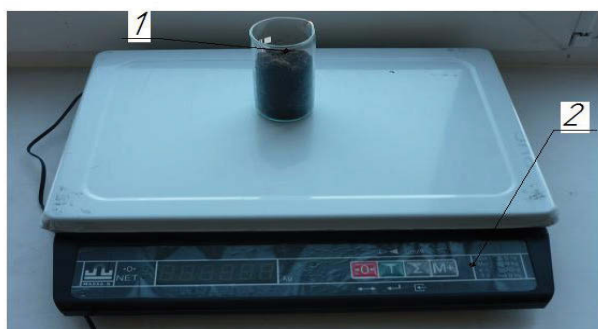
Рис. 1 – Лабораторная установка для исследования ультразвукового воздействия на процесс очистки корнеплодов от почвенных примесей: 1 – ультразвуковой генератор УЗГ-2К; 2 – ультразвуковая ванна

После априорного ранжирования факторов, оказывающих определяющее воздействие на процесс очистки корнеплодов, были выявлены наиболее значимые, к числу которых следует отнести: частоту колебаний f , кГц; интенсивность колебаний S , Вт/см²; время воздействия ультразвука t , с.

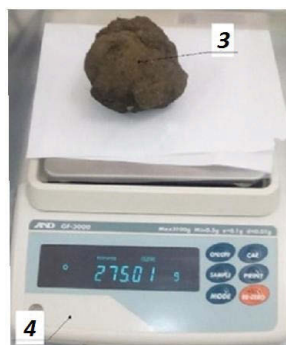
В качестве критерия оптимизации выбрана полнота ν , % очистки корнеплодов [5, 6, 7]:

$$\nu = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m_1 – масса корнеклубнеплода до ультразвукового воздействия, кг; m_2 – масса корнеклубнеплода после ультразвукового воз-



а)



б)

Рис.2 – Взвешивание почвенных примесей (а) и корнеплода (б):
 1 – почвенные примеси; 2 – весы электронные РТК-200; 3 – корнеплод; 4 – весы электронные М-ER 122ACFJR-300.01 LCD

действия, кг.

Диспергирование почвенных комков необходимо проводить в рабочей жидкости, температуру которой в течение опыта следует поддерживать постоянной. Из результатов исследований известно, что ультразвуковые аппараты работают на частотах $f = 22, 30, 35, 44, 130$ кГц, формируя капли размером от 65 мкм до 18 мкм [9, 10, 11, 12]. При увеличении частоты колебаний ультразвука уменьшается степень разрушения загрязнений очищаемого изделия. При проведении опытов по определению оптимальных режимно-технологических параметров ультразвукового воздействия необходимо поддерживать синхронный режим работы генератора и преобразователя.

Методика проведения исследований по влиянию воздействия ультразвука на процесс очистки корнеплодов от почвенных примесей заключается в следующем. Опыты по определению влияния ультразвукового воздействия на процесс очистки корнеплодов проводили на картофеле сорта «Ред Скарлет». Далее клубни взвешивали на весах модели M-ER 122ACFJR-300.01 LCD. Затем на исследуемый клубень наносили почвенные примеси определенной массы в соответствии с планом проведения эксперимента при одновременном поверхностном увлажнении слоя почвы. Исследования проводили на легких по физико-механическому составу почвах – супесчаных, а также на тяжелых – суглинистых. После нанесения на исследуемый клубень почвенных примесей его сушили в естественных условиях при температуре окружающего воздуха 20...25 °С до высыхания почвенной корки, которое определяли визуально, а затем клубень повторно взвешивали.

При проведении исследований по определению оптимальных параметров ультразвукового воздействия на процесс очистки на исследуемый клубень картофеля наносили тяжелосу-

глинистую почву массой $m = 150$ г.

После проведения операций по подготовке клубня картофеля к ультразвуковой обработке наполняли ультразвуковую ванну рабочей жидкостью, затем погружали клубень на подставке в рабочее пространство ванны и включали ультразвуковой генератор в электрическую сеть.

Результаты исследований

Из результатов ранее проведенных исследований [9, 10, 11, 12] известно, что при увеличении частоты колебаний ультразвука уменьшается степень разрушения загрязнений на очищаемом изделии.

Для каждого фактора выбраны три уровня: нижний, верхний и основной – нулевой. После этого был установлен интервал варьирования факторов (табл.). После прекращения воздействия ультразвука на клубень картофеля клубень взвешивали и определяли полноту очистки почвенных примесей по зависимости 1.

Далее эксперимент повторяли в соответствии с планом проведения исследований. Постоянство амплитуды колебаний обеспечивали применением схемы с обратной акустической связью.

Кроме того, помимо исследования влияния ультразвукового воздействия непосредственно на процесс очистки клубней от почвенных примесей, независимо от величины загрязнения клубней проводили серию однофакторных экспериментов по выявлению зависимости полноты очистки v корнеплода от массы нанесенных на клубень почвенных (суглинистых) примесей при изменяемой величине исследуемого фактора (табл.).

Остальные факторы оставляли неизменными – равными оптимальным значениям, определенным при лабораторных исследованиях.

Результаты исследований по определе-

Таблица

Уровни варьирования факторов при ультразвуковом воздействии на клубни картофеля (масса почвенных примесей – $m = 150$ г, суглинистые почвы)

Уровень варьирования	Варьируемый фактор			Критерий оптимизации
	Частота колебаний f_1 , кГц	интенсивность колебаний S , Вт/см ²	Время воздействия t , с	
	Интервал варьирования, ΔX_i			Полнота очистки клубней картофеля v , %
	42	25	10	
верхний (+1)	48	46	30	
нижний (-1)	40	38	10	
основной (0)	44	42	20	Y
кодовые обозначения		X_2	X_3	

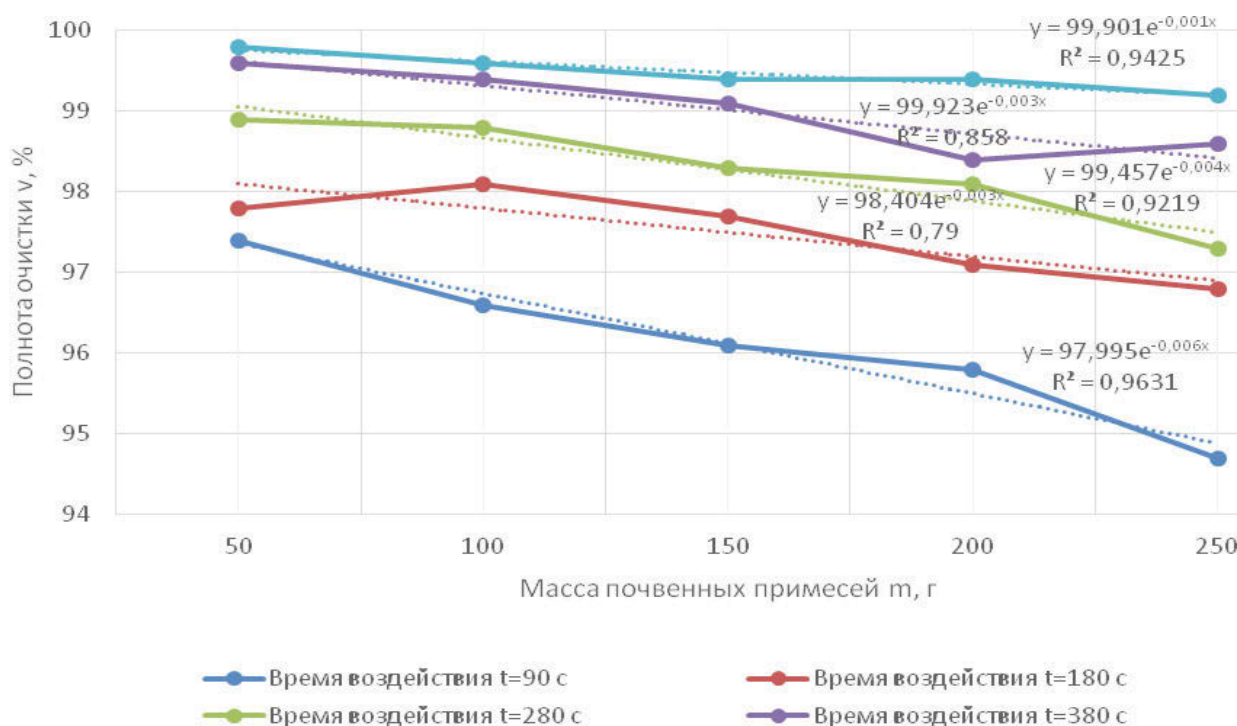


Рис. 3 – Результаты исследований по определению влияния времени t ультразвукового воздействия на полноту очистки клубней картофеля при $f_1 = 48$ кГц, $S = 42$ Вт/см² (супесчаные почвы)

нию зависимости полноты очистки v корнеплода от массы нанесенных на корнеплод почвенных примесей и времени t ультразвукового воздействия представлены на рисунках 3 и 4.

По оси абсцисс указана масса почвенных примесей на клубнях при постоянных частоте и интенсивности колебаний ультразвука и изменяемом от 90 с до 480 с времени ультразвукового воздействия, по оси ординат – качественный показатель сепарации: полнота очистки корнеклубнеплодов.

Рисунки 3 и 4 свидетельствуют о том, что

наилучшее качество очистки клубней картофеля от почвенных примесей при ультразвуковом воздействии обеспечивается при увеличении интенсивности колебаний S и времени воздействия t в интервале исследуемых значений независимо от изменения частоты колебаний f_1 ультразвука. Анализ графиков ультразвукового воздействия на процесс очистки клубней картофеля при загрязнении их различными по механическому составу почвами (супесчаными и суглинистыми) позволяет сделать следующие выводы.

На легких по физико-механическому со-

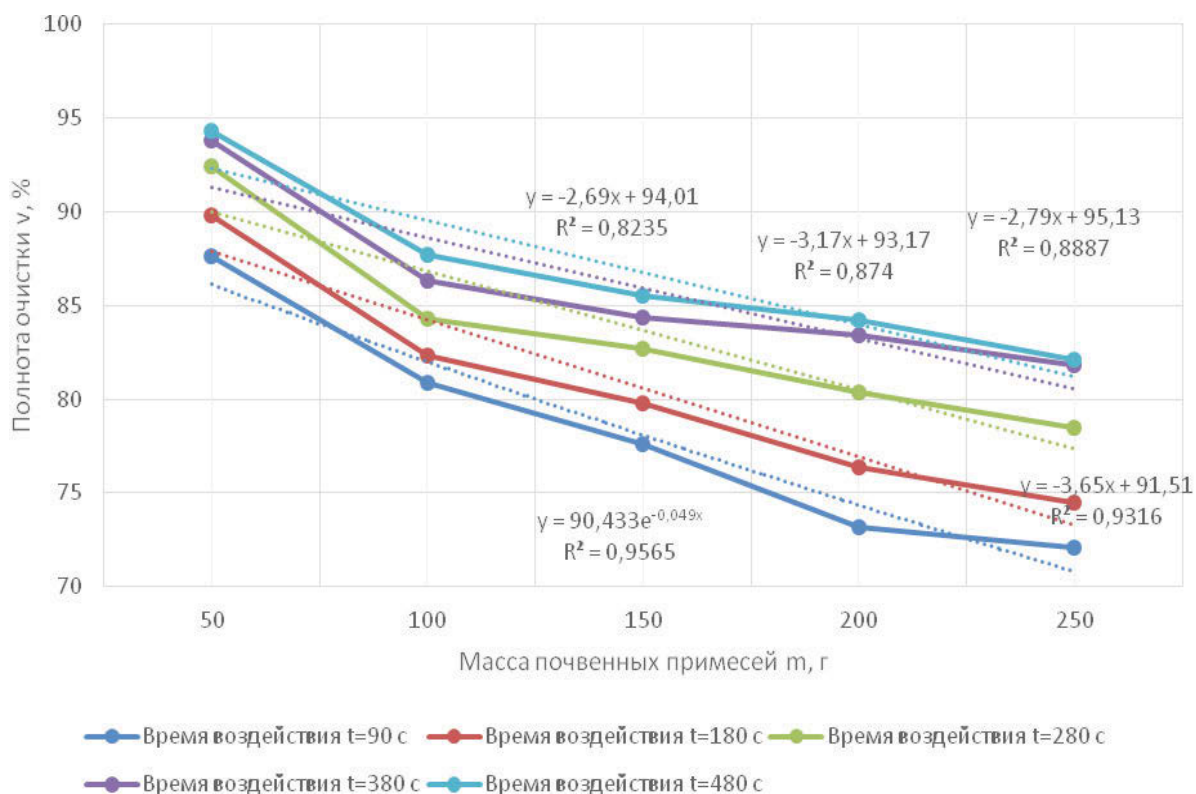


Рис. 4 – Результаты исследований по определению влияния времени t ультразвукового воздействия на полноту очистки клубней картофеля при $f_1 = 48$ кГц, $S = 42$ Вт/см² (суглинистые почвы)

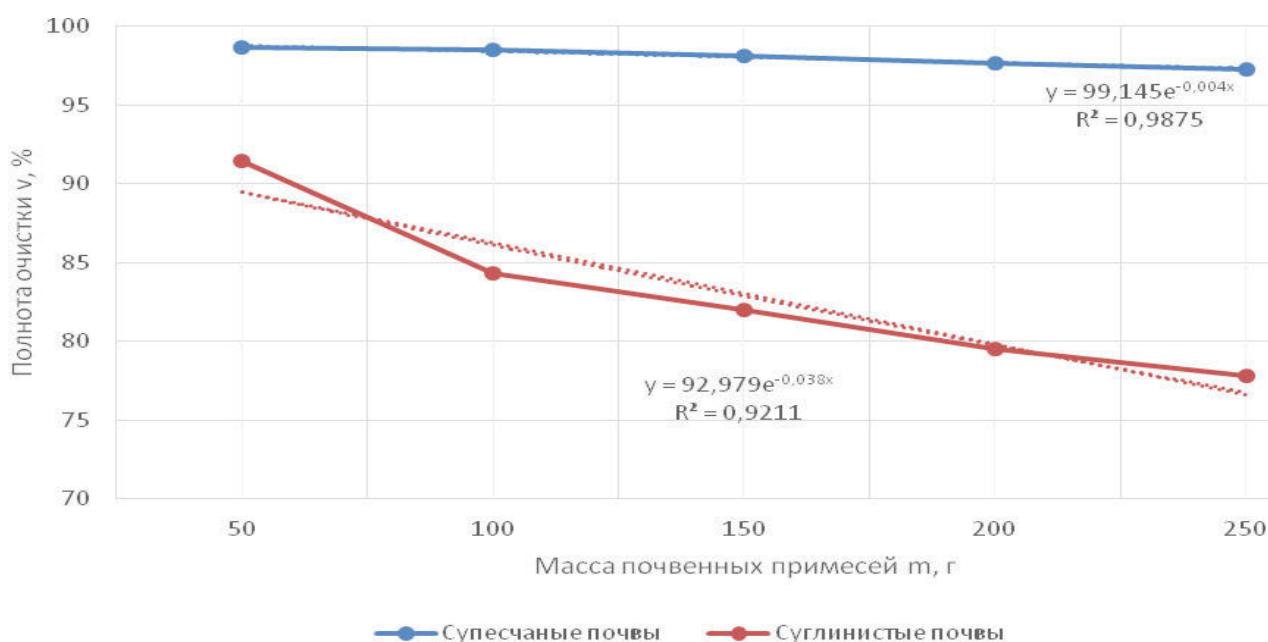


Рис. 5 – Результаты сравнительных исследований по определению влияния времени t ультразвукового воздействия на полноту очистки клубней картофеля при $f_1 = 48$ кГц, $S = 42$ Вт/см² в зависимости от гранулометрического состава загрязнений

ставу почвах при времени ультразвукового воздействия на исследуемый клубень картофеля менее 90 с обеспечивается минимальная полнота очистки 94,7% при массе почвенных приме-

сей на клубне 250 г (рис. 5).

Максимальная полнота очистки клубней картофеля $v = 99,8\%$ обеспечивается при времени ультразвукового воздействия 480 с,

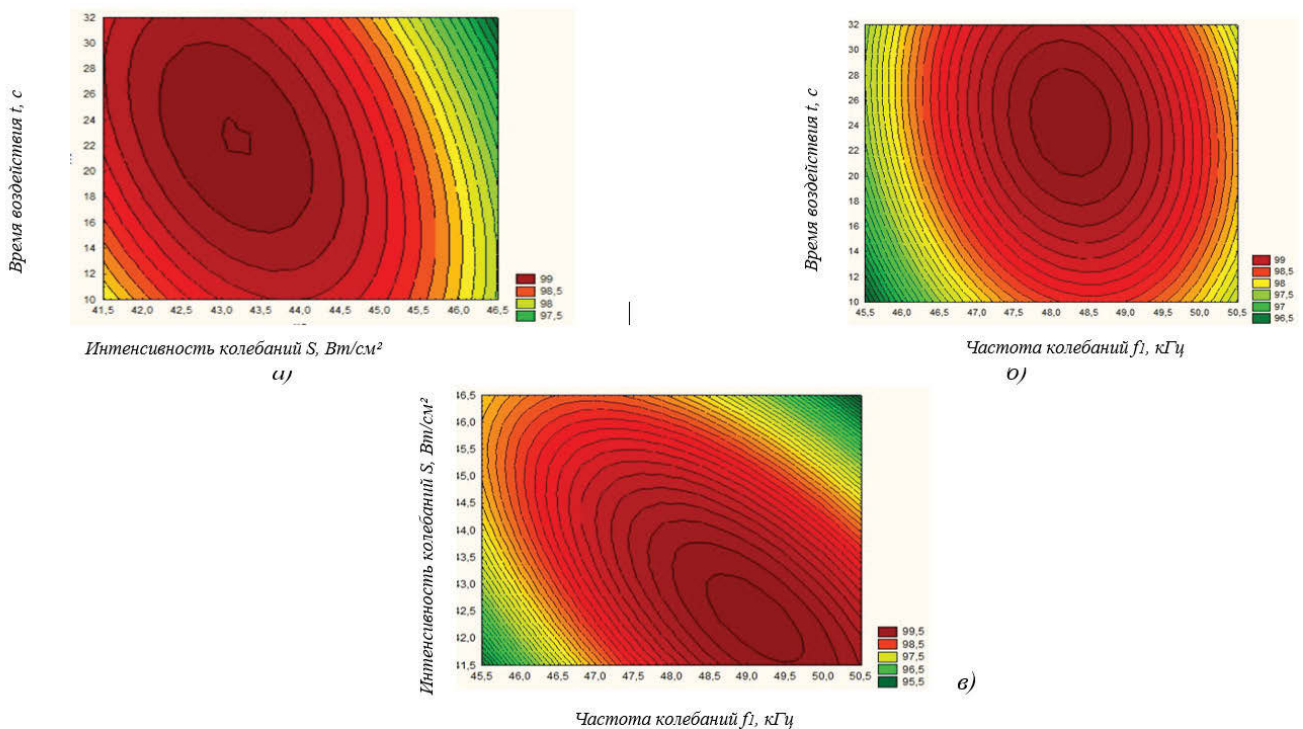


Рис. 6 – Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее полноту очистки клубней картофеля от выбранных факторов: а) времени воздействия t и интенсивности колебаний S ; б) времени воздействия t и частоты колебаний f_1 ; в) интенсивности колебаний S и частоты колебаний f_1

5,5 % и 17,1 %.

Полнота очистки ν клубней картофеля при увеличении массы загрязнений в пределах одного временного интервала изменяется в сторону снижения полноты очистки:

- при 90 с на 3,87% от минимальной $m = 50$ г до максимальной массы загрязнений $m = 250$ г;

- при 180 с на 3,82 % от минимальной $m = 50$ г до максимальной массы загрязнений $m = 250$ г;

- при 280 с на 3,42 % от минимальной $m = 50$ г до максимальной массы загрязнений $m = 250$ г;

- при 380 с на 3,87% от минимальной $m = 50$ г до максимальной массы загрязнений $m = 250$ г;

- при 480 с на 3,15 % от минимальной $m = 50$ г до максимальной массы загрязнений $m = 250$ г.

При увеличении времени ультразвукового воздействия и постоянной массе почвенных примесей на клубнях картофеля полнота очистки увеличивается:

- при $m = 50$ г - на 7,6 %;
- при $m = 180$ г - на 1,9 %;
- при $m = 280$ г - на 2,1 %;
- при $m = 380$ г - на 1,8 %;
- при $m = 480$ г - на 2,3 %.

вместе с планом второго порядка Бокса-Бенкина, с использованием компьютерной программы «STATISTICA» была получена адекватная математическая модель, описывающая зависимость полноты очистки клубней картофеля после ультразвукового воздействия в кодированном виде от выбранных факторов:

$$Y = 89,59 + 0,21x_1 - 0,38x_2 + 0,27x_3 - 0,93x_1^2 - 0,58x_2^2 - 0,26x_3^2 - 0,97x_1x_2 - 0,2x_1x_3 - 0,25x_2x_3. \quad (2)$$

Анализ рисунка 6 показал, что полнота очистки клубней картофеля составляет 89,5 % при нахождении частоты колебаний ультразвука и интенсивности колебаний в следующих пределах: = 48,5...49,8 кГц, = 41,7...43,4 Вт/см².

Уравнение (2) в натуральных значениях факторов с учетом значимости коэффициентов регрессии можно представить в следующем виде:

$$Y = -1280,93 + 33,58f_1 + 24,87S + 0,16t - 0,23f_1^2 - 0,14S^2 - 0,0013t^2 - 0,24f_1S - 0,0062f_1t - 0,0025St. \quad (3)$$

Выводы

Анализ двухмерных сечений, изображенных на рисунке 6, показал, что максимальная полнота очистки клубней картофеля составляет 89 % и обеспечивается при частоте колебаний ультразвука = 47,8...49,8 кГц, интенсивности колебаний = 41,7...43,4 Вт/см² и времени воздействия = 20,8...28,1 с.

Данное обстоятельство обусловлено тем, что качественная очистка корнеплодов от почвенных примесей зависит от времени воздействия ультразвука на обрабатываемый материал. Следовательно, в производственных условиях установка данного оборудования перед устройствами первичной сепарации не обеспечит качественную очистку клубней, так как режим работы рабочих органов первичной сепарации происходит при поступательной скорости более 1,8 м/с.

Повышение времени ультразвукового воздействия ухудшит равномерность подачи обрабатываемого вороха и нарушит непрерывность выполнения технологического процесса уборки. Таким образом, с целью интенсификации процесса очистки корнеплодов ультразвуковым воздействием при уборке на супесчаных почвах, а также их послеуборочной обработке необходимо обеспечить режимные и технологические параметры (частота колебаний ультразвука = 48 кГц, интенсивность колебаний = 42 Вт/см², время воздействия = 90 с) ультразвукового оборудования, которые обеспечат полноту очистки не менее 84,7 %.

При уборке картофеля на тяжелых суглинистых почвах максимальная полнота очистки клубней не превышает 88,3 % при времени ультразвукового воздействия = 480 с.

Библиографический список

1. Машинная технология производства лука: монография / Я.П. Лобачевский, П.А. Емельянов, А.Г. Аксенов, А.В. Сибирёв. – М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. – 168 с.
2. Зыкин, Евгений Сергеевич. Разработка и обоснование технологии и средств механизации гребневого возделывания пропашных культур: дис. ... д-ра технических наук: 05.20.01 / Е.С. Зыкин. – Ульяновск, 2017. – 637 с.
3. Теоретическое обоснование диаметра плоского диска рабочего органа пропашного культиватора / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, А.В. Ерошкин, Л.Н. Хайбуллина // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 1. – С. 54 – 60.
4. Курдюмов, В.И. Обоснование расстояния между плоскими дисками пропашного культиватора / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, С.А. Лазуткина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 3. – С. 174 – 178.
5. Хвостов, В.А. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет) // В.А. Хвостов, Э.С. Рейнгарт. – М.: 1995. – 391 с.
6. Ларюшин, Андрей Михайлович. Энергосберегающие технологии и технические средства для уборки лука: дис. ... д-ра технических наук: 05.20.01 / А.М. Ларюшин. – Пенза, 2010. – 426 с.
7. Протасов, Андрей Анатольевич. Совершенствование технологических процессов и технических средств для уборки лука: дис. ... д-ра технических наук: 05.20.01 / А.А. Протасов. – Саратов, 2005. – 355 с.
8. Сибирёв, А.В. Экспериментальные лабораторные исследования цилиндрического очистителя почвенных примесей в технологическом процессе сепарации / А.В. Сибирёв, П.А. Емельянов, А.Г. Аксенов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2. (24). – С. 33 – 36.
9. Лузгин, В.И. Ультразвуковое оборудование и методы получения нанодисперсных эмульсий и суспензий / В.И. Лузгин, А.Е. Шестовских, Б.А. Кандалинцев // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии: сборник трудов 3-ей Международной научно-практической конференции 16 мая 2013 г.- Екатеринбург, 2014. – С. 101 – 105.
10. Лебедева, Дарья Александровна. Разработка и исследование ультразвуковых медицинских аппаратов для травматологии и хирургии, широкодиапазонных по параметрам нагрузки: дис. ... канд. технических наук: 05.11.17 / Д.А. Лебедева. – Омск, 2015. – 120 с.
11. Ультразвуковые колебательные системы для синтеза полимерных композиционных материалов: монография / Д.А. Негров, Е.Н. Еремин, А.А. Новиков, Л.А. Шестель. – Омск: Ом ГТУ, 2012. – 128 с.
12. Новик, Алексей Александрович. Исследование процесса ультразвукового диспергирования керамических материалов в жидких средах: дис. ... канд. технических наук: 05.09.10 / А.А. Новик. – Санкт-Петербург, 2013. – 118 с.

RESEARCH RESULTS OF POTATO TUBER CLEANING PROCESS WITH ULTRASONIC TREATMENT

Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V.
FSBI «Federal Scientific Agroengineering Center All-Union Institute of Mechanization»
109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy Rd, 5,
tel. 8 (499) -174-89-11
e - mail: sibirev2011@yandex.ru

Key words: potato, root crop, onion, cleaning, ultrasound, multifactor experiment, research, frequency, intensity, installation.

Currently produced machines for harvesting root crops and onions are designed according to well-known tried and tested schemes that have their traditional drawbacks, therefore, such machines initially cannot carry out the technological process of harvesting well. Attempts to use digging machines for mechanization of harvesting (potato diggers, potato harvesters, root-diggers and diggers of other vegetable crops) were not widely spread due to heavy textured soil and poor quality of separation. To eliminate the above disadvantages for cleaning root vegetables, potatoes and onions, a method of ultrasonic treatment has been proposed, which intensifies the process of cleaning root vegetables from soil impurities at the final stage of root vegetables, potatoes and onions processing. The article presents instrumentation for carrying out research on the technological parameters of ultrasound treatment on the quality of the root crop cleaning process from soil impurities, the methodology and results of the laboratory studies of the ultrasonic treatment in the cleaning process of the Red Scarlet potato tubers, the suitable parameters of ultrasonic treatment that intensify the root crop cleaning from soil impurities were determined. The results of the comparative laboratory studies of potato tubers cleaning from soil impurities of different physico-mechanical composition (sandy and loamy soils) allow us to conclude that the best parameters of intensification of ultrasonic treatment with an increase of tuber cleaning ϑ from 7.2% to 19.5% with sandy soil impurities applied on a tuber with a mass of 50 g to 250 g with an average increase step $\vartheta = 2.3\%$ are provided with the technological parameters of $f_1 = 48 \text{ kHz}$, $S = 42 \text{ W/cm}^2$. Cleaning of potato tubers from loamy soils with identical values of the technological parameters of ultrasonic treatment does not provide a satisfactory cleaning.

Bibliography

1. Machine technology of onion production: monograph / Ya.P. Lobachevsky, P.A. Emelyanov, A.G. Aksenov, A.V. Sibirev. - M.: Federal State Budgetary Educational Institution, Federal Research Center All-Union Institute of Mechanization, 2016. - 168 p.
2. Zykin, Evgeny Sergeevich. Development and substantiation of the technology and means of mechanization of ridged cultivation of row crops: dissertation of Doctor of Technical Sciences: 05.20.01 / E.S. Zykin. - Ulyanovsk, 2017. - 637 p.
3. Theoretical substantiation of the diameter of the flat disk of the working body of a tilled cultivator / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, A.V. Eroshkin, L.N. Khaybullina // Bulletin of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics. - 2017. - № 1. - P. 54 - 60.
4. Kurdyumov, V.I. Justification of the distance between flat discs of a row cultivator / V.I. Kurdyumov, E.S. Zykin, S.A. Lazutkina // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2016. - № 3. - P. 174 - 178.
5. Khvostov, V.A. Machines for harvesting root crops and onions (theory, design, calculation) // V.A. Khvostov, E.S. Reingart. - M., 1995. - 391 p.
6. Laryushin, Andrei Mikhailovich. Energy-saving technologies and technical means for cleaning onions: dissertation of Doctor of Technical Sciences: 05.20.01 / A.M. Laryushin. - Penza, 2010. - 426 p.
7. Protasov, Andrey Anatolyevich. Improvement of technological processes and technical means for cleaning onions: dissertation of Doctor of Technical Sciences: 05.20.01 / A.A. Protasov. - Saratov, 2005. - 355 p.
8. Sibirev, A.V. Experimental laboratory studies of a cylindrical purifier of soil impurities in the process of separation / A.V. Sibirev, P.A. Emelyanov, A.G. Aksenov // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2017. - № 2. (24). - P. 33 - 36.
9. Luzgin, V.I. Ultrasonic equipment and methods for producing nanodispersed emulsions and suspensions / V.I. Luzgin, A.E. Shestovskikh, B.A. Kandalintsev // Efficient and high-quality supply and use of electricity: a collection of works of the 3rd International Scientific and Practical Conference May 16, 2013 - Ekaterinburg, 2014. - P. 101 - 105.
10. Lebedeva, Daria Alexandrovna. Development and research of ultrasonic medical devices for traumatology and surgery, wide-range in terms of load parameters: dissertation of Candidate of Technical Sciences: 05.11.17 / D.A. Lebedeva. - Omsk, 2015. - 120 p.
11. Ultrasonic oscillatory systems for synthesis of polymer composite materials: monograph / D.A. Negrov, E.N. Eremin, A.A. Novikov, L.A. Shestel. - Omsk: Om STU, 2012. - 128 p.
12. Novik, Alexey Alexandrovich. research of the process of ultrasonic dispersion of ceramic materials in liquid media: dissertation of Candidate of Technical Sciences: 05.09.10 / A.A. Novik. - St. Petersburg, 2013. - 118 p.