

ПРОЦЕСС ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОЧИСТКИ КЛУБНЕПЛОДОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

*Сибирёв Алексей Викторович, к.т.н., старший научный сотрудник,
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
Мосяков Максим Александрович, к.т.н., старший преподаватель,
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К.А. Тимирязева»
E-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru*

***Аннотация:** В статье рассматривается процесс послеуборочной обработки овощных культур. Акцентируется внимание на том, что существующий комплекс машин не позволяет в полной мере обеспечить агротехнические требования к технологическому процессу послеуборочной обработки корнеплодов. Предлагается использование ультразвукового воздействия на корнеплоды для очистки их от почвенных примесей. Приводятся данные о воздействии на корнеплод в ламинарном потоке жидкости акустической кавитации, порождаемой ультразвуковыми волнами с частотой 18-18,5 кГц при плотности мощности не менее 1 Вт/см². Отмечается, что многократные гидравлические кумулятивные удары, возникающие при захлопывании кавитационных пузырьков, должны отделять от корнеплодов почвенные примеси, что значительно сократит время и энергозатраты при послеуборочной обработке овощных культур.*

***Ключевые слова:** клубнеплод, очистка, ультразвук, исследования, частота, интенсивность, установка.*

Овощеводство является важной отраслью сельскохозяйственного производства. Среди множества овощных растений все большее значение придается культурам, продукция которых содержит физиологически активные вещества.

Для производства и послеуборочной обработки, хранения овощных культур применяются комплексы специальных и универсальных машин [1, 2].

К универсальным машинам относятся транспортные средства общего назначения, энергетические средства различного тягового класса, к специальным машинам – техника для посадки, культиваторы, машины для полива, химзащиты и послеуборочной обработки, хранения. Но наиболее сложными и дорогостоящими элементами комплекса машин для производства овощей являются уборочные комбайны [3, 4].

Состояние почвы во время уборочного процесса оказывает решающее влияние практически на все показатели машин для уборки корнеплодов и

послеуборочной обработки: чистоту вороха, потери и повреждения продукции, надежность и энергоемкость машины, экологическую совместимость ее движителей с почвой, устойчивость курсового движения.

Наряду с почвенным фактором, определяющим качественные условия уборки и послеуборочной обработки необходимо выделить фактор, такой как агрофизические свойства клубнеплодов. Их хранение прежде всего, неразрывно связано с их уборкой и послеуборочной подготовкой к закладке на хранение.

Важнейшее требование к уборке – не допустить потерь урожая и обеспечить высокие товарные его качества с минимумом выхода нетоварной продукции.

Послеуборочная товарная обработка продукции состоит из операций, которые подразделяют на основные, специфичные и вспомогательные. К основным операциям относят сортировку и калибровку клубнеплодов, обеспечивающие однородное качество продукции. Существующий комплекс машин не позволяет в полной мере обеспечить агротехнические требования к процессу послеуборочной обработки корнеплодов [5, 6].

Разработка новых механизированных технологий и технических средств послеуборочной обработки, позволяющих исключить или значительно уменьшить содержание почвенных примесей в разделяемом ворохе [7, 8].

Одним из предлагаемых способов, является ультразвуковое воздействие на корнеплоды для отчистки их от почвенных примесей. Для этого технологического процесса необходимо физическое воздействие ультразвуком на воду, интенсифицирующие ее влияние на корнеплоды.

Согласно результатам исследований фракционного состава вороха корнеплодов $m_{Вп}$, поступающего на сепарирующие органы имеем, что состав вороха корнеплодов образованного набором основных элементов:

- мелких почвенных примесей m_1 , кг;
- комков почвы, соизмеримых по размерам с корнеплодами m_2 , кг;
- крупных почвенных комков m_3 , кг;
- корнеплодов m_4 , кг;
- растительных примесей m_5 , кг.

Кроме того, механизированное производство и послеуборочная обработка корнеплодов и лука сопровождается повышением экологического воздействия на окружающую среду, которое проявляется в следующих формах:

- увеличение количества эрозионно опасных частиц почвы под воздействием рабочих органов;
- вынос плодородного слоя почвы совместно с товарной продукцией при уборке корнеплодов и лука;
- уплотнение почвенного слоя ходовыми системами машинно-тракторного парка;
- загрязнение токсичными составляющими отработавших газов ДВС машинно-тракторного агрегата;

- загрязнение окружающей среды ядохимикатами и минеральными удобрениями.

При ультразвуковом воздействии благодаря кавитационному захлопыванию полости молекулы воды расщепляются на валентно ненасыщенные весьма реакционноспособные Н и ОН радикалы [9]:



Время жизни этих радикалов 10^{-2} – 10^{-4} секунд. Ионы водорода проникают в кристаллическую решетку твердого тела, чем способствуют понижению прочности обрабатываемого вещества [9]. Появление в воде свободных гидроксильных радикалов должно интенсифицировать процесс отволаживания корнеплода из-за стремления свободных отрицательно заряженных гидроксильных групп к нейтральному состоянию. Исследования механизма ультразвуковой очистки показывают, что преобладающую роль в очистке поверхности играют пульсирующие кавитационные пузырьки (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема отделения загрязнения пульсирующими кавитационными пузырьками: а – начальный момент; б – момент разрыва и отделения

На поверхности они совершают интенсивные колебания и порождают при захлопывании давление до 100 МПа, преодолевая силу сцепления загрязнений ($10^2 \dots 10^3$ Па) с поверхности корнеплода, проникают под них (рисунок 1), разрывают и отслаивают их с поверхности корнеплода [7, 8].

При определении параметров обработки для подготовки корнеплодов к очистке от почвенных примесей следует учитывать, что изменение объема кавитационного пузырька тем больше, чем ниже частота ультразвуковых колебаний.

Соответственно, для получения максимального давления при захлопывании пузырька, необходимо использовать нижнюю границу ультразвукового диапазона 18 кГц.

Изменение объема кавитационного пузырька за долю периода, приходящуюся на стадию захлопывания сферического пузырька выражается [9]:

$$K \rightarrow R_{\max}^3 - R_{\min}^3 \cdot \Delta t \cdot f, \quad (2)$$

где R_{\max}, R_{\min} – максимальный и минимальный радиусы пузырька, м; Δt – время захлопывания пузырька, с; f – частота колебаний ультразвука, Гц.

Экспериментальными исследованиями установлено, что воздействие на корнеплод в ламинарном потоке жидкости акустической кавитации, порождаемой ультразвуковыми волнами с частотой 18-18,5 кГц при

плотности мощности не менее 1 Вт/см^2 , называемой порогом кавитации, проявляется в виде колебаний парогазовых пузырьков.

Они сопровождаются возникновением периодического несинусоидального звукового поля с высокими пиковыми значениями давления и колебательной скорости.

В кавитационной области возникают мощные гидродинамические возмущения в виде сильных импульсов сжатия (микроударных волн) и микропотоков, порождаемых пульсирующими пузырьками. По тепловой теории в момент захлопывания кавитационного пузырька внутри него развивается температура равная $104 \text{ }^\circ\text{C}$. При этой температуре молекулы воды внутри кавитационного пузырька переходят в возбужденное состояние и расщепляются на радикалы Н и ОН.

На поверхность загрязненного почвенными примесями корнеплода, при проходе через поле акустической кавитации, интенсивно воздействуют захлопывающиеся кавитационные пузырьки.

Согласно изложенным теоретическим предпосылкам видно, что для обеспечения качественного выполнения технологического процесса послеуборочной обработки корнеплодов от механических примесей и на различных агроценозах одним из вариантов интенсификации процесса очистки корнеплодов от почвы и соизмеримых с ними почвенных комков является использование процесса увлажнения корнеклубненосного вороха при его сепарации.

Одним из способов физического воздействия на воду, интенсифицирующее ее влияние на объект следует отнести воздействие ультразвуком.

Исходя из приведенных теоретических исследований сделано предположение о том, что многократные гидравлические кумулятивные удары, возникающие при захлопывании кавитационных пузырьков, должны отделять от корнеплодов почвенные примеси, что значительно сократит время и энергозатраты при послеуборочной обработке овощных культур.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, тема проекта «Обоснование параметров ультразвукового воздействия интенсификации очистки клубней картофеля и топинамбура от почвенных примесей и исследование его влияния на процессы хранения», №1.1.5.

Библиографический список

1. Li S.T, Chen X.B, Chen W, Zhu S.P, Li Y.W, Yang L. (2018), Soil-cutting simulation and parameter optimization of handheld tiller's rotary blade by Smoothed Particle Hydrodynamics modeling and Taguchi method. Journal of Cleaner Production, Issue number 179: 55–61.
2. Мосяков, М.А. Оценка уровня интеллектуализации машинно-технологических комплексов в овощеводстве РФ/ М.А. Мосяков, Н.В. Сазонов // В сборнике: Доклады ТСХА. -2020. -С. 401-406.

3. Sojka R.E, Horne D.J, Ross C.W, Baker C.J. (1997), Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield, *Soil and Tillage Research*, Issue number 40 (3-4): 25 – 144.
4. Nappe Mordi N. Al-Dosary (2016), Potato harvester performance on tubers damage at the eastern of Saudi Arabia, *CIGR Journal*, Issue number 18(2): 32 – 42.
5. Алдошин, Н.В. Обеспеченность технологий обработки почвы интеллектуальными средствами и методами контроля / Н.В. Алдошин, М.А. Мосяков // В сборнике: Доклады ТСХА.- 2020. -С. 396-400.
6. Amol B. Rohokale, Pavan D. Shewale, Sumit B. Pokharkar, Keshav K. Sanap. (2014) A review on multi-seed sowing machine, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, Issue number 5, pp. 180-186, Tamilnadu / India.
7. Сибирёв, А.В. Методика экспериментального исследования ультразвукового воздействия на процесс очистки корнеклубнеплодов от почвенных примесей /А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов // *Advances in Science and Technology*. Сборник статей XVIII международной научно-практической конференции. Научно-издательский центр «Актуальность.РФ». -2019.- С. 97-99.
8. Дорохов, А.С. Результаты исследований процесса очистки клубней картофеля ультразвуковым воздействием / А.С. Дорохов, А.Г. Аксенов, А.В. Сибирёв//*Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. -2019. -№ 2 (46). -С. 6-13.
9. Семилет, Н.А. Повышение эффективности подготовки зерна к помолу влажной обработкой с ультразвуковой интенсификацией процесс [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / Н.А. Семилет. – Саратов, 2017. – 167 с.

Post-harvest cleaning process ultrasonic impact

Sibiriyov A.V., PhD in Technical Sciences Federal Scientific Agroengineering Center VIM 109428, Russia, Moscow, 1st Institutskiy proezd, 5

Mosyakov M.A., PhD in Technical Sciences Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy 127550, Russia, Moscow, Timiryazevskayastr., 49

Abstract: *The article deals with the process of post-harvest processing of vegetable crops. Attention is focused on the fact that the existing complex of machines does not allow to fully meet the agrotechnical requirements for the technological process of post-harvest processing of root crops. It is proposed to use ultrasonic action on root crops for cleaning them from soil impurities. Data on the effect of acoustic cavitation generated by ultrasonic waves with a frequency of 18-18.5 kHz at a power density of at least 1 W / cm² are given on the effect of acoustic cavitation on a root crop in a laminar flow of liquid. It is noted that multiple hydraulic cumulative shocks arising from the collapse of cavitation bubbles should separate soil impurities from root crops, which will significantly*

reduce the time and energy consumption during post-harvest processing of vegetable crops.

Key words: *tuber, cleaning, ultrasound, research, frequency, intensity, setting.*