

4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья
УДК 635-156:550.34.013.4
DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_69

**Математическая модель и закономерности изменения
производительности установки для предреализационной
подготовки корнеплодов аэродинамическим способом**

Нозим Исмоилович Джабборов¹, Антон Михайлович Захаров², Илья Николаевич Шаблыкин^{3✉}

^{1, 2, 3}Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

³shablykin@list.ru✉

Аннотация. В настоящее время проблема повышения эффективности технологии предреализационной подготовки корнеплодов является актуальной. На практике применяются такие способы предреализационной подготовки корнеплодов, как мойка и сухая очистка. Представлены результаты исследований, проведенных с целью разработки математической модели и выявления закономерности изменения производительности установки для предреализационной подготовки корнеплодов аэродинамическим способом, экспериментальный образец которой был создан в ИАЭП – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Реализуемый в экспериментальной установке аэродинамический способ отличается от других применяемых в настоящее время способов тем, что при аспирации воздух является носителем загрязняющих мелких сухих частиц, а вода определенного объема используется в качестве фильтра для полной его очистки. Разработана математическая модель изменения производительности установки для предреализационной подготовки корнеплодов. Выявлено, что производительность установки зависит от вместимости барабана и частоты его вращения, плотности вороха и поправочной функции, которая определяется показателями, характеризующими параметры корнеплода, прилипшей к нему почвенной массы и воздушного потока. Математические модели рассмотренного процесса очистки могут быть применены для решения многочисленных задач, возникающих при проектировании, разработке и испытаниях различных конструкций установок предреализационной подготовки корнеплодов, использующих аэродинамический способ. Выявленные закономерности изменения поправочной функции и производительности установки в дальнейшем можно использовать для обоснования рациональных конструктивно-технологических параметров и режимов ее работы. Представляет интерес исследование работы установки в разных скоростных, нагрузочных и температурных режимах для обоснования ее потенциальных возможностей.

Ключевые слова: корнеплоды, предреализационная подготовка, аэродинамический способ, математическая модель, закономерности изменения производительности, частота вращения барабана, влажность примеси

Для цитирования: Джабборов Н.И., Захаров А.М., Шаблыкин И.Н. Математическая модель и закономерности изменения производительности установки для предреализационной подготовки корнеплодов аэродинамическим способом // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 1(76). С. 69–79. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_69-79.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT
FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

**Mathematical model and common patterns of performance
changes of the device for pre-sale preparation of root crops
through the use of aerodynamic method**

Nozim I. Dzhabborov¹, Anton M. Zakharov², Iliya N. Shablykin^{3✉}

^{1, 2, 3}Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russia

³shablykin@list.ru✉

Abstract. Currently, the problem of increasing the efficiency of pre-sale preparation of root crops is urgent. In practice, such methods of pre-sale preparation of root crops as washing and dry cleaning are used. The authors present the results of studies conducted to develop a mathematical model and identify common patterns of changes in the performance of the device for pre-sale preparation of root crops through the use of aerodynamic method, an experimental sample of which was created in the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Saint Petersburg, Russia). Aerodynamic

method implemented in the experimental device differs from other currently used methods in that, during aspiration, air becomes a carrier of impurities, i.e. fine dry particles, and a certain volume of water is used as a filter for its complete cleaning. A mathematical model of the changes in performance of the device for pre-sale preparation of root crops has been developed. It is revealed that the productivity of the device depends on the drum capacity and the frequency of its rotation, the density of the pile and the correction function, which is determined by indicators characterizing the parameters of roots, adhered soil impurities, and air flow. Mathematical models of the considered cleaning process can be applied to solve numerous problems that arise during the design, development and testing of various devices for pre-sale preparation of root crops through the use of aerodynamic method. The revealed common patterns of changes in the correction function and performance of the device can be used in the future to justify rational design and technological parameters and modes of its operation. It is of interest to study the operation of the installation in various speed, load and temperature conditions to substantiate its potential capabilities.

Keywords: root crops, pre-sale preparation, aerodynamic method, mathematical model, common patterns of performance changes, drum rotation frequency, adhered soil impurities

For citation: Dzhabborov N.I., Zakharov A.M., Shablykin I.N. Mathematical model and common patterns of performance changes of the device for pre-sale preparation of root crops through the use of aerodynamic method. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(1):69-79. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_1_69-79.

Введение

Завершающим этапом хранения плодоовощной продукции является товарная обработка перед реализацией. Наиболее простой ее вид – ручная переработка с отбраковкой дефектных клубней. Для картофеля разработаны совершенные механизированные линии по товарной обработке клубней, благодаря которым обеспечивается высокое качество продукции. Такие линии устанавливают в крупных хранилищах в отдельном теплом цехе товарной обработки, что, безусловно, повышает затраты и, как следствие, стоимость предлагаемой к реализации продукции. В настоящее время продовольственный картофель, произведенный в хозяйствах, продается по 20–25 руб./кг, очищенный и фасованный в тару – 35–80 руб./кг [16].

Масштабный опыт эксплуатации различных картофелеуборочных комбайнов показывает, что картофель без посторонних примесей может быть получен только при оптимальных условиях уборки, то есть на легких по механическому составу почвах, влажность которых в период уборки составляет 16–20%. Как показывает практика, уборка в большинстве случаев проходит в неблагоприятных погодных условиях, из-за которых в бункер картофелеуборочного комбайна попадает значительное количество примесей – от 30 до 60% [5].

Подготовка корнеплодов является одним из важнейших этапов реализации сельскохозяйственной продукции, включает в себя несколько технологических процессов, таких как первоначальная очистка, сортировка и упаковка в тару. Отделение земли и других примесей от корнеплодов является наиболее трудоемкой операцией в предреализационной подготовке. В основном применяют такие способы предреализационной доработки корнеплодов, как мойка [6] и сухая очистка.

Известны способы отделения примесей от клубней картофеля и устройства их реализации, представляющие собой вращающиеся цилиндрические барабаны, вращающиеся шнеки, очищающие сита и др. [8, 15, 19–22]. Также известны способы сухой очистки картофеля, реализуемые в блоках, оборудованных рабочими органами, состоящими из вращающихся в одном направлении и установленных параллельно щеточных валов. К преимуществам данных рабочих органов очистителей относится высокая эффективность отделения почвы [9, 10].

В связи с тем, что процесс мойки реализуется при значительном расходе воды, а стоимость фильтрующих и очистных сооружений весьма значительна, не каждый сельхозпроизводитель может оборудовать моечный цех. Сухой способ очистки свободен от вышеприведенных недостатков [9, 12, 13, 14]. Анализируя многообразие технических решений, можно сделать вывод, что применяемые в настоящее время способы для предреализационной доработки, а именно мойка и очистка клубнеплодов сухим способом, хотя и эффективны, но в то же время нуждаются в усовершенствовании.

Перспективным является способ очистки корнеклубнеплодов с использованием ультразвукового воздействия, так как способствует интенсификации отделения механических примесей от товарной продукции, однако для окончательного принятия решений об использовании данного способа необходимо проведение дальнейших как теоретических, так и экспериментальных исследований о влиянии ультразвуковых колебаний на качественные характеристики корнеклубнеплодов в условиях их товарного производства или хранения [3, 23].

Известны инженерно-технические решения, предусматривающие компоновку современных линий товарной доработки столовых корнеплодов, репчатого лука и кочанной капусты, позволяющие получать продукцию путем сухой и мокрой очистки, очистки от кожуры с нарезкой, химическим консервированием или стерилизацией полуфабрикатов для предприятий общественного питания различной направленности. Использование оборудования ведущих европейских производителей, таких как Skals Maskinfabrik A/S, Martin Maq Engineering S.L., IMAlapak Verpackungsmaschinen GmbH, Eima Engineering GmbH и др., позволяет производить широкий номенклатурный перечень фасованной, мытой или очищенной сухим способом свежей продукции высшего товарного качества с высокой добавленной стоимостью, а также полуфабрикаты – очищенные свежие или стерилизованные продукты в вакуумной упаковке с дополнительной добавленной стоимостью [7].

Разработана классификация способов и средств очистки картофеля, в которой основное внимание уделяется снижению использования воды в процессе очистки и применению механических воздействий на обрабатываемый материал (сухая очистка) [18]. Разработан и изготовлен стенд для исследования машины для сухой очистки картофеля. Полученные эмпирические зависимости удельной энергоемкости процесса, производительности, эффективности очистки и повреждаемости объекта очистки в зависимости от режимных и конструктивных параметров машины наглядно доказывают преимущества сухой очистки [11].

Известны методы построения математических моделей технологических процессов предреализационной подготовки картофеля, основанные на положениях теории множеств и математической логики. Разработана схема модели функционального состояния технологических процессов и представлено ее математическое описание [17], а также приведены результаты анализа применяемых вариантов предреализационной доработки корнеплодов, схема установки для отделения почвенных примесей аэродинамическим способом, описан процесс доработки.

Выявлены закономерности изменения потребной мощности установки, ее производительности, а также энергоемкости процесса очистки картофеля в зависимости от температуры воздуха на выходе из форсунки. Результаты исследований свидетельствуют о том, что установка для доработки корнеплодов функционирует в оптимальном режиме при его следующих параметрах:

- 1) частота вращения барабана – $n = 20 \text{ мин}^{-1}$;
- 2) температура воздуха, выходящего из форсунок, – $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$;
- 3) потребная мощность установки – 5,68 кВт.

Разработана методика экологической оценки предреализационной доработки картофеля аэродинамическим способом, приведены основные принципы аспирационно-водяного способа очистки воздуха, обеспечивающие требования охраны труда к рабочим помещениям [2]. Предлагаемый аспирационно-водяной способ отличается от применяемых в настоящее время способов тем, что в аспирации воздух является носителем загрязняющих мелких сухих частиц, а вода определенного объема используется в качестве фильтра для полной его очистки. С точки зрения экологической безопасности использование предложенного аэродинамического способа при предреализационной подготовке

картофеля позволит снизить негативное воздействие на окружающую среду и исключить попадание в рабочую зону и в атмосферу пылевых частиц и растительных остатков.

Установка, разработанная Н.И. Джабборовым, А.М. Захаровым, А.В. Зыковым [2], представляет собой устройство, которое очищает корнеплоды от прилипшей почвы и других примесей посредством давления целенаправленного нагретого воздуха.

В целом эффективность аэродинамического способа предреализационной подготовки картофеля подтверждена теоретическими экспериментальными исследованиями [2, 4, 17]. Однако возникает необходимость в разработке математической модели и выявлении закономерности изменения производительности установки для предреализационной подготовки корнеплодов аэродинамическим способом.

Материалы и методы

Представлены результаты исследований, выполненных с целью разработки математической модели и выявления закономерности изменения производительности установки для предреализационной подготовки корнеплодов аэродинамическим способом, экспериментальный образец которой создан в Институте агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Объект исследований – процесс предреализационной подготовки корнеплодов в предложенной установке, предмет исследований – закономерности изменения производительности установки для предреализационной подготовки корнеплодов аэродинамическим способом.

В лабораторных условиях были проведены экспериментальные исследования работы установки для предреализационной подготовки корнеплодов. Для улучшения эксплуатационных показателей установки была усовершенствована ее конструкция, что позволило изменять режимы ее работы в более широких диапазонах.

В процессе исследований проводились расчеты производительности установки при различных настройках.

В ходе исследований получены экспериментальные данные, которые в дальнейшем позволили сформулировать закономерности изменения производительности установки для очистки корнеплодов и оценить адекватность разработанной модели.

Ошибка выборочного среднего значения μ показателей и параметров процесса определили по общеизвестной формуле [1]:

$$\mu = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{или} \quad \mu = \frac{D(x)}{n} . \quad (1)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение параметра;

$D(x)$ – дисперсия параметра;

n – численность выборки (количество измерений).

В целом ошибка выборочного среднего значения исследуемых нами параметров варьировалась в пределах $\mu = 0,021-0,083$.

Экспериментальные данные были обработаны по методике, описанной в работе [1].

Результаты и их обсуждение

Производительность является одним из основных показателей оценки эффективности технических средств, применяемых в технологиях выращивания и послеуборочной обработки сельскохозяйственной продукции.

Производительность экспериментальной установки для предреализационной подготовки корнеплодов аэродинамическим способом зависит от конструктивно-технологических параметров, характеристик обрабатываемого материала, скоростных и температурных режимов функционирования [1].

На основе анализа факторов, влияющих на технологический процесс предреализационной подготовки корнеплодов аэродинамическим способом, а также конструктивно-технологических параметров установки, были выбраны наиболее значимые (или весо-

мые) параметры и факторы, влияющие на значение ее производительности. В результате была разработана детерминированная математическая модель, позволяющая подсчитать производительность установки (т/ч):

$$W_u = V_{\delta} \times \rho_k \times n_{\delta} \times \theta_i, \quad (2)$$

где V_{δ} – емкость барабана, м³;

ρ_k – плотность обрабатываемого материала (корнеплодов), т/м³;

n_{δ} – количество оборотов барабана, мин⁻¹;

θ_i – поправочная функция.

Поправочную функцию θ_i можно определить из следующего выражения [1]:

$$\theta_i = \left(\frac{p_G^2 - p_G^1}{p_G^2} \right) \times \left(\frac{\omega_G^1 - \omega_G^2}{\omega_G^2} \right) \times \frac{t}{\tau_1} \times \frac{1}{\varphi_{II}}, \quad (3)$$

где p_G^1 – твердость примеси и поверхности корнеплода (первоначальная до предрезализационной подготовки), кг/см²;

p_G^2 – твердость примеси и поверхности корнеплода в начале образования твердой корки, г/см²;

ω_G^1 – влажность примеси и поверхности корнеплода (первоначальная до очистки), %;

ω_G^2 – влажность примеси и поверхности корнеплода в начале образования твердой корки, %;

t – температура примеси и поверхности корнеплода до очистки, °С;

τ_1 – температура направленного на корнеплоды воздушного потока, °С;

φ_{II} – коэффициент поглощения тепла корнеплодом и почвенной примесью.

С учетом выражений (2) и (3) детерминированная математическая модель производительности установки для аэродинамической предрезализационной подготовки корнеплодов примет вид [1]

$$W_u = V_{\delta} \times \rho_k \times n_{\delta} \times \left(\frac{p_G^2 - p_G^1}{p_G^2} \right) \times \left(\frac{\omega_G^1 - \omega_G^2}{\omega_G^2} \right) \times \frac{t}{\tau_1} \times \frac{1}{\varphi_{II}}. \quad (4)$$

В таблице 1 приведены значения поправочной функции θ_i , твердости p_G^1 , p_G^2 , влажности ω_G^1 , ω_G^2 , температуры t , τ_1 и коэффициента поглощения φ_{II} тепла корнеплодов.

Таблица 1. Значения характеристик обрабатываемого материала и поправочной функции при аэродинамической предрезализационной подготовке корнеплодов

Коэффициент поглощения тепла картофелем и почвенной примесью φ_{II}	Температура направленного на картофель воздушного потока τ_1 , °С	Температура примеси и поверхности картофеля до предрезализационной подготовки t , °С	Влажность примеси и поверхности картофеля в начале образования твердой корки ω_G^2 , %	Первоначальная влажность примеси и поверхности картофеля до начала предрезализационной подготовки ω_G^1 , %	Твердость примеси и поверхности картофеля в начале образования твердой корки p_G^2 , г/см ²	Первоначальная твердость примеси и поверхности картофеля до начала предрезализационной подготовки p_G^1 , кг/см ²	Поправочная функция θ_i
0,2	100	23	12	26	19	0,3	1,485
						0,6	1,46
						0,9	1,445

В таблице 2 приведены значения производительности установки W_4 в зависимости от вместимости V_6 и частоты вращения барабана n_6 , плотности определенного объема корнеплодов ρ_k и поправочной функции θ_i .

Таблица 2. Значения характеристик обрабатываемого материала, поправочной функции и производительности установки для предреализационной подготовки корнеплодов (при $\varphi_n = 0,2$ и $\tau_1 = 100$ °С)

Частота вращения барабана n_6 , МИН ⁻¹	Плотность определенного объема картофеля ρ_k Т/М ³	Поправочная функция θ_i	Емкость барабана V_6 , М ³	Первоначальная твердость примеси и поверхности картофеля до начала предреализационной подготовки $p_Г^1$, КГ/СМ ²	Производительность установки W_4 , Т/Ч
10	0,7	1,485	0,1	0,3	1,040
		1,460		0,6	1,022
		1,445		0,9	1,012
15		1,485		0,3	1,559
		1,460		0,6	1,533
		1,445		0,9	1,517
20		1,485		0,3	2,079
		1,460		0,6	2,044
		1,445		0,9	2,023

Графическая зависимость поправочной функции θ_i от изменения значений $p_Г^1$ показана на рисунке 1.

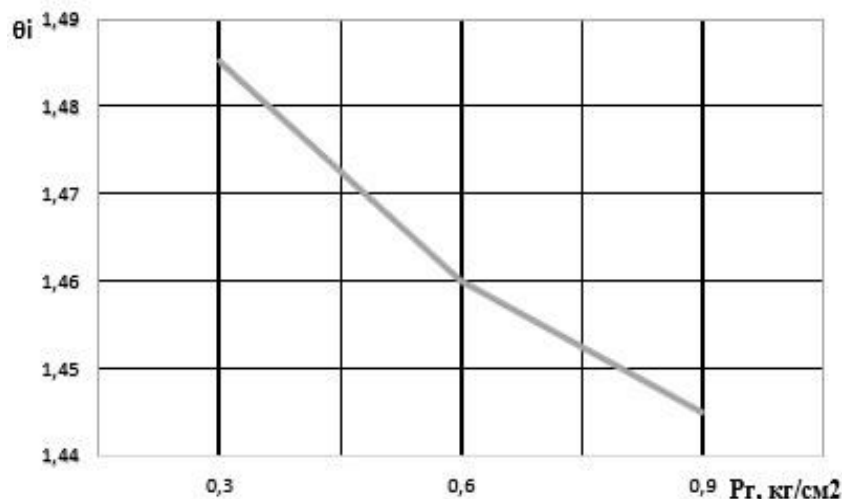


Рис. 1. Зависимость поправочной функции θ_i от первоначальной твердости примеси и поверхности корнеплода до предреализационной подготовки $p_Г^1$

Данные, полученные в процессе экспериментальных исследований работы установки, свидетельствуют о том, что в диапазоне изменения $p_Г^1$ от 0,2 до 0,7 кг/см² значение поправочной функции уменьшается от 1,483 до 1,442.

Выявлена закономерность изменения поправочной функции θ_i от параметра $p_Г^1$, которая описывается эмпирической зависимостью

$$\theta_i = 0,00667\rho_Г^1{}^2 - 0,088\rho_Г^1 + 1,50033. \quad (5)$$

Показано, что эмпирическая зависимость (5) справедлива в диапазоне изменений параметра $p_Г^1 = 0,2-0,7$ м/с.

Графическая зависимость изменения производительности установки $W_{\text{ч}}$ от частоты вращения барабана $n_{\text{б}}$ при $p_{\text{Г}}^1 = 0,2 \text{ кг/см}^2$ представлена на рисунке 2. При изменении частоты вращения барабана от 10 до 15 об/мин при фиксированном значении параметра $p_{\text{Г}}^1$, равном $0,2 \text{ кг/см}^2$, производительность установки увеличивается от $0,964$ до $1,928 \text{ т/ч}$.

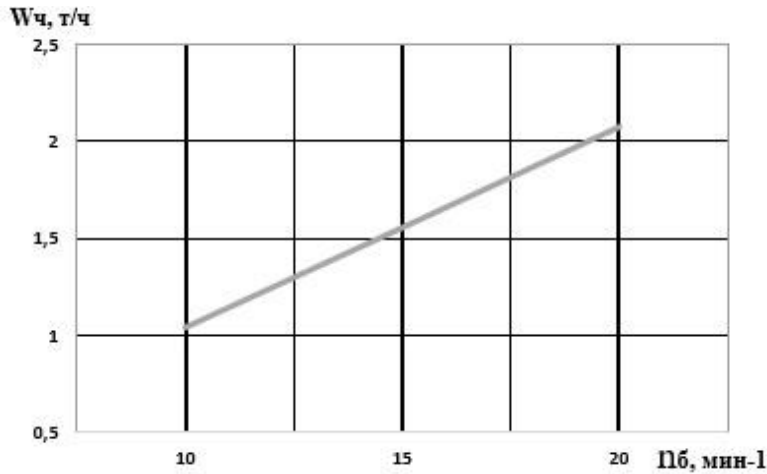


Рис. 2. Зависимость производительности установки $W_{\text{ч}}$ от частоты вращения барабана $n_{\text{б}}$ (при $p_{\text{Г}}^1 = 0,2 \text{ кг/см}^2$)

Выявлена закономерность изменения производительности от частоты вращения барабана, которая описывается эмпирической зависимостью (при $p_{\text{Г}}^1 = 0,2 \text{ кг/см}^2$)

$$W_{\text{ч}} = 0,0964n_{\text{б}}. \quad (6)$$

Эмпирическая зависимость (6) справедлива в диапазоне изменения частоты вращения барабана $n_{\text{б}} = 10\text{--}20 \text{ об/мин}$.

Графическая зависимость изменения производительности установки $W_{\text{ч}}$ от частоты вращения барабана $n_{\text{б}}$ (при $p_{\text{Г}}^1 = 0,5 \text{ кг/см}^2$) представлена на рисунке 3.

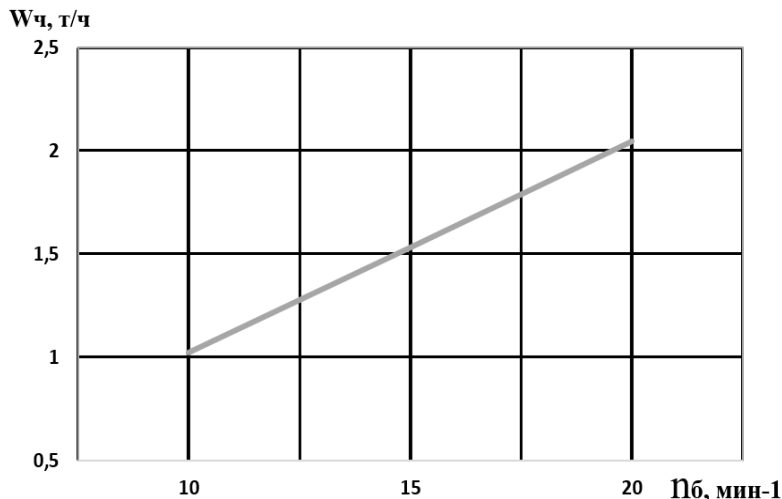


Рис. 3. Зависимость производительности установки $W_{\text{ч}}$ от частоты вращения барабана $n_{\text{б}}$ (при $p_{\text{Г}}^1 = 0,5 \text{ кг/см}^2$)

Экспериментальные данные и графическая зависимость, показанная на рисунке 3, свидетельствуют о том, что при изменении частоты вращения барабана от 10 до 15 об/мин при фиксированном значении параметра первоначальной твердости примеси и поверхности корнеплода до предреализационной подготовки, равном $0,5 \text{ кг/см}^2$, производительность установки увеличивается от $0,948$ до $1,896 \text{ т/ч}$.

Выявлена закономерность изменения производительности установки от изменения частоты вращения барабана при фиксированном значении параметра p_f^1 , равном $0,5 \text{ кг/см}^2$, которая описывается эмпирической зависимостью

$$W_u = 0,0948n_\sigma. \quad (7)$$

Эмпирическая зависимость (7) справедлива в диапазоне изменения частоты вращения барабана $n_\sigma = 10\text{--}20$ об/мин (при $p_f^1 = 0,5 \text{ кг/см}^2$).

Графическая зависимость изменения производительности установки W_u от частоты вращения барабана n_σ (при $p_f^1 = 0,7 \text{ кг/см}^2$) представлена на рисунке 4.

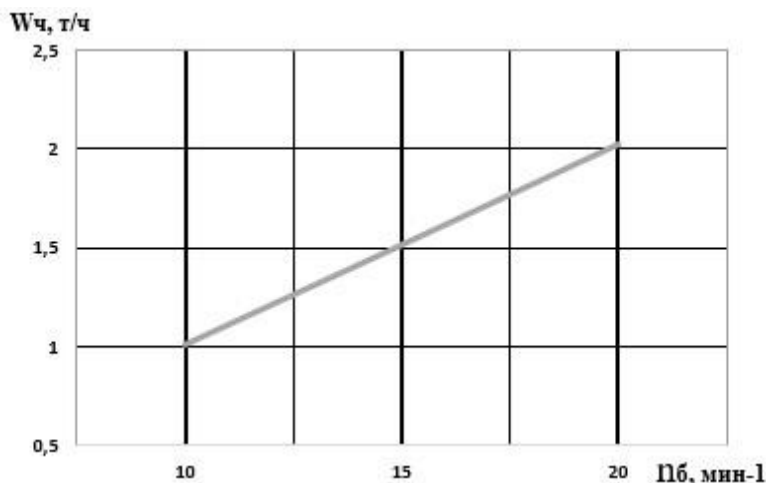


Рис. 4. Зависимость производительности установки W_u от частоты вращения барабана n_σ (при $p_f^1 = 0,7 \text{ кг/см}^2$)

Как следует из приведенных на рисунке 4 данных, при изменении частоты вращения барабана от 10 до 15 об/мин и фиксированном значении параметра $p_f^1 = 0,7 \text{ кг/см}^2$ также, как и в предыдущих зависимостях (рис. 2, 3), наблюдается увеличение производительности установки от 0,937 до 1,874 т/ч (рис. 4).

Закономерность изменения производительности от изменения частоты вращения барабана при фиксированном значении параметра $p_f^1 = 0,7 \text{ кг/см}^2$ описывается следующей эмпирической зависимостью:

$$W_u = 0,00002n_\sigma^2 + 0,0943n_\sigma - 0,004. \quad (8)$$

Эмпирическая зависимость (8) справедлива в диапазоне изменения частоты вращения барабана $n_\sigma = 10\text{--}20$ об/мин (при $p_f^1 = 0,7 \text{ кг/см}^2$).

Разработанные аналитическая и эмпирические модели являются результатом формализации процесса изменения производительности установки для предреализационной подготовки корнеплодов аэродинамическим способом в зависимости от частоты вращения барабана.

Сведения для математического описания процесса изменения производительности установки были получены путем обобщения экспериментальных данных.

Математические модели рассмотренного в статье процесса могут быть использованы для решения многочисленных задач, возникающих при проектировании, разработке и испытаниях различных конструкций установок предреализационной подготовки корнеплодов аэродинамическим способом.

Выводы

Разработана математическая модель процесса изменения производительности установки для предреализационной подготовки корнеплодов.

Выявлены закономерности изменения производительности установки, которые описываются соответствующими эмпирическими зависимостями.

Выявленные закономерности изменения производительности установки в дальнейшем можно использовать при оптимизации конструктивно-технологических и энергетических параметров, а также режимов работы установки для предрезализационной подготовки корнеплодов.

Результаты исследований получены при фиксированном значении температуры направленного на корнеплоды воздушного потока, равном 100 °С. Большой интерес представляет исследование работы установки в других скоростных и температурных режимах для обоснования ее потенциальных возможностей.

Список источников

1. Валге А.М., Джабборов Н.И., Эвиев В.А. Основы статистической обработки экспериментальных данных при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства с примерами на Statgraphics и Excel. Санкт-Петербург: Изд-во ИАЭП; Элиста: изд-во Калмыцкого гос. ун-та, 2015. 137 с.
2. Джабборов Н.И., Захаров А.М. Методика экологической оценки аспирационно-водяной очистки воздуха при обработке картофеля аэродинамическим способом // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. № 91. С. 138–146.
3. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирёв А.В. Результаты исследований процесса очистки клубней картофеля и корнеплодов моркови с использованием ультразвука // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2(50). С. 6–14. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-6-14.
4. Иванов Д.Ю. Предрезализационная доработка клубнеплодов аэродинамическим способом // Механика и машиностроение. Наука и практика: материалы международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 10 декабря 2021 г.). Санкт-Петербург: ИП Жукова Е.В., 2021. Т. 4. С. 18–20. DOI: 10.26160/2658-6185-2021-4-18-20.
5. Кузьмин А.В., Беломестных В.А. Техническое обеспечение послеуборочной обработки картофеля // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса: материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (п. Молодежный, Иркутский ГАУ, 05–06 ноября 2020 г.). Иркутская обл.: Иркутский ГАУ, 2020. С. 164–170.
6. Машина для мойки и очистки картофеля и переработки отходов: авторское свидетельство СССР 1243688. № 3637408/28-13; заявл. 25.08.1983; опубл. 15.07.1986, Бюл. № 26. 5 с.
7. Мудреченко С.Л., Масловский С.А., Борисов В.А и др. Предрезализационная доработка картофеля и овощей: современные решения // Картофель и овощи. 2022. № 2. С. 17–22. DOI: 10.25630/PAV.2022.79.79.002.
8. Мулянов А.И., Карпенко Г.В., Карпенко М.А. Совершенствование технологии очистки клубней картофеля от почвенных загрязнений // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы X Международной научно-практической конференции (Ульяновск, 23 июня 2020 г.). В 2 т. Ульяновск: Ульяновский ГАУ, 2020. Т. 2. С. 243–246.
9. Орешин Е.Е., Захаров А.М. Эффективность использования блока сухой очистки при подготовке к реализации продовольственного картофеля // Молочнохозяйственный вестник. 2012. № 4(8). С. 45–51.
10. Орешин Е.Е., Степанов А.Н., Захаров А.М. Повышение эффективности сухой очистки картофеля щеточными валами // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2013. № 31. С. 214–220.
11. Рапинчук А.Л., Воробей А.С., Бренч А.А., Белохвостов Г.И. Экспериментальные исследования процесса сухой очистки картофеля // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2010. № 3. С. 67–72.
12. Сабиев У.К., Лисянов В.В., Гайдай П.А. Обоснование рациональных параметров безводного очистителя корнеклубнеплодов // Техника и оборудование для села. 2014. № 6. С. 14–16.
13. Сабиев У.К., Лисянов В.В., Сабиев И.У. Безводный очиститель корнеклубнеплодов // Тракторы и сельхозмашины. 2013. Т. 80, № 5. С. 14.
14. Сабиев У.К., Хузин И.Р. Безводная очистка корнеклубнеплодов вибрационным воздействием // Вестник Омского ГАУ. 2020. № 4(48). С. 146–151.
15. Способ очистки поверхности клубней картофеля от примесей. Авторское свидетельство СССР 1800935. № 4863428/15; заявл. 06.09.1990; опубл. 07.03.1993, Бюл. № 9. 3 с.
16. Средние цены производителей на отдельные виды промышленных товаров по Российской Федерации. 1998–2022 гг. // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/cena_sx.xlsx (дата обращения: 21.09.2022).
17. Устроев А.А. Методологические аспекты построения математических моделей технологических процессов предрезализационной подготовки картофеля // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 89. С. 81–87.
18. Хузин И.Р., Лупенцев К.Л., Сабиев У.К. Классификация способов и средств очистки картофеля // Концепции фундаментальных и прикладных научных исследований: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции: в 6 т. (Уфа, 09 декабря 2017 г.). Уфа: Агентство международных исследований, 2017. Т. 6. С. 185–191.
19. Abedi G., Abdollahpour S., Bakhtiari M. Aerodynamic properties of potato tubers to airflow separation from stones and clods // International Journal of Vegetable Science. 2018. Vol. 25(1). Pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1478920>.

20. Gao G., Zhang D., Liu J. Design of a new soil-tuber separation device on potato harvesters // In: Li D., Liu Y., Chen Y. (eds) Computer and Computing Technologies in Agriculture IV. CCTA 2010. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer, Berlin, Heidelberg. 2011. 2011. Vol. 346. Pp. 604-612. DOI: 10.1007/978-3-642-18354-6_71.
21. Wang X., Sun J., Xu Y. et al. Design and experiment of potato cleaning and sorting machine // Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2017. Vol. 48(10). Pp. 316–322. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.10.040.
22. Xie S., Wang Ch., Deng W. et al. Separating mechanism analysis and parameter optimization experiment of swing separation sieve for potato and soil mixture // Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery. 2017. Vol. 48(11). Pp. 156–164. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.019.
23. Zhu C., Wang B., Gong R. et al. Dual-frequency ultrasonic washing machine for fruits and vegetables // International Conference on Consumer Electronics. IEEE 2015 (Taipei, Taiwan, June 06-08, 2015). ICCE-TW Publisher, 2015. Article no. 7216828. Pp. 152–153. DOI: 10.1109/ICCE-TW.2015.7216828.

References

1. Valge A.M., Dzhaborov N.I., Eviev V.A. Osnovy statisticheskoy obrabotki eksperimental'nykh dannykh pri provedenii issledovaniy po mekhanizatsii sel'skokhozyajstvennogo proizvodstva s primerami na Statgraphics i Excel [Basics of Statistical Processing of Experimental Data in Agricultural Mechanization Studies with Examples on Statgraphics and Excel]. St. Petersburg: Institute of Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production Publishing House; Elista: Kalmyk State University Press; 2015. 140 p. (In Russ.).
2. Dzhaborov N.I., Zakharov A.M. Metodika ekologicheskoy otsenki aspiratsionno-vodyanoy ochistki vozdukhа pri obrabotke kartofelya aerodinamicheskim sposobom [Methods for environmental assessment of aspiration-water cleaning of air in aerodynamic treatment of potatoes]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products*. 2017;91:138-146. (In Russ.).
3. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Rezul'taty issledovaniy protsessa ochistki klubnej kartofelya i korneplodov morkovi s ispol'zovaniem ul'trazvuka [Research results of the cleaning process of cleaning potato tubers and carrot root crops using ultrasound]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyajstvennoy akademii = Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020;2(50):6-14. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-6-14. (In Russ.).
4. Ivanov D.Yu. Predrealizatsionnaya dorabotka klubneplodov aerodinamicheskim sposobom [Pre-realization refinement of tubers in an aerodynamic way]. *Mekhanika i mashinostroenie. Nauka i praktika: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Sankt-Peterburg, 10 dekabrya 2021 g.) [Mechanics and Mechanical Engineering. Science and Practice: Proceedings of the international scientific and practical conference (St. Petersburg, December 10, 2021). St. Petersburg: IP Zhukova E.V.; 2021;4:18-20. DOI: 10.26160/2658-6185-2021-4-18-20. (In Russ.).*
5. Kuzmin A.V., Belomestnykh V.A. Tekhnicheskoe obespechenie posleuborochnoy obrabotki kartofelya [Technical support for post-harvest potato processing]. *Problemy i perspektivy ustojchivogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (p. Molodezhnyj, Irkutskij GAU, 05–06 noyabrya 2020 g.) [Problems and prospects for sustainable development of the Agro-Industrial Complex: Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation (p. Molodezhnyj, Irkutsk State Agrarian University, November 05-06, 2020)]. Irkutsk Obl.: Irkutsk State Agrarian University Press; 2020:164-170. (In Russ.).*
6. Mashina dlya mojki i ochistki kartofelya i pererabotki otkhodov [Machine for washing and cleaning potatoes and waste processing]. *Avtorskoe svidetel'stvo SSSR 1243688. № 3637408/28-13; zayavleno 25.08.1983; opublikovano 15.07.1986, Byul. № 26 = Inventor's Certificate 1243688 USSR. No. 3637408/28-13; claimed 25.08.1983; published 15.07.1986, Bulletin 26. 5 p. (In Russ.).*
7. Mudrenchenko S.L., Maslovskii S.A., Borisov V.A. et al. Predrealizatsionnaya dorabotka kartofelya i ovoshchey: sovremennye resheniya [Pre-sale commodity refinement of potatoes and vegetable products: modern solutions]. *Kartofel' i ovoshchi = Potato and Vegetables* 2022;2:17-22. DOI: 10.25630/PAV.2022.79.79.002. (In Russ.).
8. Mulyanov A.I., Karpenko G.V., Karpenko M.A. Sovershenstvovanie tekhnologii ochistki klubnej kartofelya ot pochvennykh zagryaznenij [Improving the technology of cleaning potato tubers from soil contamination]. *Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ikh resheniya: materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Ul'yanovsk, 23 iyunya 2020 g.)*. V 2 t. [Agrarian science and education at the present stage of development: experience, problems and solutions. Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference (Ulyanovsk, June 23, 2020). In 2 vols. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University Press; 2020. Vol. 2:243-246. (In Russ.).
9. Oreshin E.E., Zakharov A.M. Effektivnost' ispol'zovaniya bloka sukhoy ochistki pri podgotovke k realizatsii prodovol'stvennogo kartofelya [Efficient use of the dry cleaning unit in potato pre-selling preparation]. *Molochnokhozyaistvennyy Vestnik = Dairy Farming Journal*. 2012;4(8):45-51. (In Russ.).
10. Oreshin E.E., Stepanov A.N., Zakharov A.M. Povyshenie effektivnosti sukhoy ochistki kartofelya shchetochnymi valami [Improving the efficiency of dry potato cleaning with brush rollers]. *Izvestia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint Petersburg State Agrarian University*. 2013;31:214-220. (In Russ.).
11. Rapinchuk A.L., Vorobey A.S., Brench A.A., Belokhvostov G.I. Eksperimental'nye issledovaniya protsessa sukhoy ochistki kartofelya [Experimental research of process of dry clearing of potato]. *Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-Technical Series*. 2010;3:67-72. (In Russ.).

12. Sabiev U.K., Lisyayov V.V., Gaidai P.A. Obosnovanie ratsional'nykh parametrov bezvodnogo ochistitelya korneklubneplodov [Substantiation of rational characteristics of waterless cleaner for root and tuber crops]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2014;6:14-16. (In Russ.).
13. Sabiev U.K., Lisyayov V.V., Sabiev I.U. Bezvodnyy ochistitel' korneklubneplodov [Waterless tuberous roots cleaner]. *Traktory i sel'khoz mashiny = Tractors and Agricultural Machinery*. 2013;80(5):14. (In Russ.).
14. Sabiev U.K., Khuzin I.R. Bezvodnaya ochistka korneklubneplodov vibratsionnym vozdeystviem [Waterless tuberous root cleaning by means of vibration]. *Vestnik Omskogo GAU = Vestnik of Omsk SAU*. 2020;4(48):146-151. (In Russ.).
15. Sposob ochistki poverkhnosti klubnej kartofelya ot primesej [Method for cleaning the surface of potato tubers from impurities]. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR 1800935. № 4863428/15; zayavleno 06.09.1990; opublikovano 07.03.1993, Byul. № 9 = Inventor's Certificate 1800935 USSR. No. 4863428/15; claimed 06.09.1990; published 07.03.1993, Bulletin 9. 3 p. (In Russ.).
16. Srednie tseny proizvoditelej na otdel'nye vidy promyshlennykh tovarov po Rossijskoj Federatsii. 1999–2022 gg. [Average producer prices for certain types of industrial goods in the Russian Federation. 1999–2022]. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki (Rosstat) [Federal State Statistics Service]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/cena_sx.xlsx. (In Russ.).
17. Ustroev A.A. Metodologicheskie aspekty postroeniya matematicheskikh modelej tekhnologicheskikh protsessov predrealizatsionnoj podgotovki kartofelya [Methodological aspects of building mathematical models of technological processes of pre-sale potato preparation]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva = Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Products*. 2016;89:81-87. (In Russ.).
18. Khuzin I.R., Lupentsev K.L., Sabiev U.K. Klassifikatsiya sposobov i sredstv ochistki kartofelya [Classification of methods and means of cleaning potatoes]. *Konceptsiy fundamental'nykh i prikladnykh nauchnykh issledovaniy: sbornik statej po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 6 t. (Ufa, 09 dekabrya 2017 g.)* [Concepts of fundamental and applied scientific research: Collection of papers based on the results of the International Scientific-Practical Conference: in 6 vols. (Ufa, December 09, 2017)]. Ufa: Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy, 2017:185-191. (In Russ.).
19. Abedi G., Abdollahpour S., Bakhtiari M. Aerodynamic properties of potato tubers to airflow separation from stones and clods. *International Journal of Vegetable Science*. 2018;25(1):1-8. DOI: 10.1080/19315260.2018.1478920.
20. Gao G., Zhang D., Liu J. Design of a new soil-tuber separation device on potato harvesters. In: Li D., Liu Y., Chen Y. (eds) *Computer and Computing Technologies in Agriculture IV*. CCTA 2010. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. 2011;346:604-612. DOI: 10.1007/978-3-642-18354-6_71.
21. Wang X., Sun J., Xu Y. et al. Design and experiment of potato cleaning and sorting machine. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2017;48(10):316-322. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.10.040.
22. Xie S., Wang Ch., Deng W. et al. Separating mechanism analysis and parameter optimization experiment of swing separation sieve for potato and soil mixture. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2017;48(11):156-164. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.019.
23. Zhu C., Wang B., Gong R. et al. Dual-frequency ultrasonic washing machine for fruits and vegetables. *International Conference on Consumer Electronics*. IEEE 2015 (Taipei, Taiwan, June 06-08, 2015). ICCE-TW Publisher; 2015;7216828:152-153. DOI: 10.1109/ICCE-TW.2015.7216828.

Информация об авторах

Н.И. Джаббаров – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», nozimjon-59@mail.ru.

А.М. Захаров – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», bauermw@mail.ru.

И.Н. Шаблыкин – младший научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», shablykin@list.ru.

Information about the authors

N.I. Dzhabbarov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Leading Research Scientist, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, nozimjon-59@mail.ru.

A.M. Zakharov, Senior Research Scientist, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, bauermw@mail.ru.

I.N. Shablykin, Junior Research Scientist, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, shablykin@list.ru.

Статья поступила в редакцию 20.11.2022; одобрена после рецензирования 24.12.2022; принята к публикации 12.01.2023.

The article was submitted 20.11.2022; approved after reviewing 24.12.2022; accepted for publication 12.01.2023.

© Джаббаров Н.И., Захаров А.М., Шаблыкин И.Н., 2023
