

УДК 631.356:635.132(476)

ОБОСНОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ НЕКОНДИЦИОННЫХ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ СТРУЕЙ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Д.И. Комлач,*ген. директор РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук***А.С. Воробей,***науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук***И.А. Барановский,***ст.науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук***Н.Л. Ракова,***доцент каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ, канд. техн. наук***Ж.И. Пантелеева,***аспирант Института математики НАН Беларуси***М.Н. Трибуналов,***ст. преподаватель каф. тракторов и автомобилей БГАТУ, канд. техн. наук*

В статье обоснованы кинематические параметры автоматической установки для удаления некондиционных клубней картофеля струей сжатого воздуха.

Ключевые слова: установка, кинематические параметры, клубни картофеля, струя сжатого воздуха.

The article justifies the kinematic parameters of an automatic installation for removing substandard potato tubers with a compressed air jet.

Key words: installation, kinematic parameters, potato tubers, compressed air jet.

Введение

Одним из важных этапов возделывания картофеля является сортировка и оценка его качества. Традиционно при сортировке качество картофеля оценивается вручную относительно простым методом выборок. Для отделения некондиционных клубней картофеля на стадии их предреализационной доработки, отечественной промышленностью выпускаются инспекционные столы, на которых распознавание клубней производится персоналом визуально, а отбор некондиции – вручную. Трудозатраты на ручной сортировке составляют порядка 0,4–0,6 чел.- ч/т. Время, необходимое человеку для осмотра одного клубня, составляет порядка 0,45 с. Как показывает практика, этого недостаточно для эффективной работы сортировочных линий картофеля с производительностью 10–15 т/ч. В результате общая производительность снижается с 12 до 4–5 т/ч, что соответствующим образом сказывается на ее экономической эффективности [1].

В настоящее время предъявляются все более высокие требования к методам оценки различных параметров качества и сортировки картофеля. Это подвигает к реализации все более сложных технологических детекторов качества продукта.

Использование систем технического (машинного) зрения (СТЗ) и автоматической инспекции (АИ) для идентификации и отделения некондиционных клубней картофеля из общего вороха является одним из таких методов, направленных на выполнение технологического процесса отделения некондиционных клубней из общей массы с оптимальной производительностью и точностью.

Современные исследования в области использования систем технического зрения и акустических систем при сортировке картофеля представлены в работах [2–4]. Все имеющиеся в настоящее время в мире оптические сортировщики работают на мокром способе, как, например, финская компания WECTORSCAN. Известно, что после мокрого способа картофель недолго лежит на прилавках магазинов. После сухого способа картофель дольше хранится, принося наибольший доход предпринимателям. Маркетинговые исследования показали, что оптических сортировщиков, работающих на сухом способе сортировки и СТЗ, в Республике Беларусь нет.

В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» проводятся исследования, направленные на создание машины для оптической сортировки

картофеля сухим способом по внутренним дефектам при помощи инфракрасной спектроскопии [5].

Цель настоящей работы – определение основных параметров системы автоматической инспекции для идентификации и отделения некондиционных клубней картофеля сухим способом с помощью струи сжатого воздуха и экспериментальное подтверждение полученных результатов.

Основная часть

В основу разрабатываемой системы автоматической инспекции положен принцип отделения некондиционных клубней струей сжатого воздуха. Предполагается, что клубни картофеля, идентифицированные системой технического зрения как некондиционные, будут перемещаться вальцовым транспортирующим устройством к пневмомодулю, снабженному пневмоклапаном. После распознавания нужного для сортировки компонента на блок пневмоклапанов подается управляющий сигнал. Через расчетное время, в момент прохождения клубня, возле соответствующего клапана он открывается, поток воздуха отстреливает клубень, выделяя его из общего потока. Неотстреленные клубни идут дальше по технологической цепочке. Для данных целей авторами предложена пневматическая система отделения некондиционных клубней картофеля, обоснованы ее конструктивные и режимные параметры.

Для определения внутреннего диаметра форсунки (рис. 1) необходимо определить теоретический диаметр воздушного потока d_x , который рассчитывается по формуле [6]:

$$d_x = d_0 \cdot 6,8 \cdot \left(\frac{a \cdot x}{d_0} + 0,145 \right), \quad (1)$$

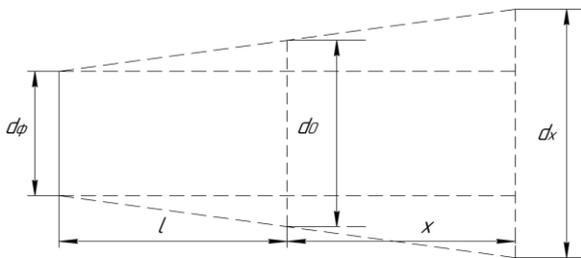


Рисунок 1. Схема воздушного потока:

d_ϕ – внутренний диаметр форсунки; d_0 – внешний диаметр форсунки; d_x – диаметр воздушного потока

где a – коэффициент турбулентности структуры воздушного потока $a = 0,07$;

d_0 – внешний диаметр форсунки, $d_0 = 0,008$ м;

x – расстояние расчетного сечения струи до начального сечения, $x = 0,13$ м.

$$d_x = 0,008 \cdot 6,8 \cdot \left(\frac{0,07 \cdot 0,13}{0,008} + 0,145 \right) = 0,07 \text{ м.}$$

Согласно рис.1, рассчитаем внутренний диаметр форсунки по формуле:

$$d_\phi = d_0 - \frac{l(d_x - d_0)}{x}, \quad (2)$$

где d_x – теоретический диаметр воздушного потока, м;

l – длина форсунки, $l = 0,008$ м.

Используя уравнение (2), получим числовое значение, рассчитанное с учетом особенностей конструкции механической части установки и параметров вальцов:

$$d_\phi = 0,008 - \frac{0,008 \cdot (0,07 - 0,008)}{0,13} = 0,004 \text{ м.}$$

Скорость истечения воздуха из форсунки определим по выражению [7]:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \cdot \frac{T \cdot R}{M} \cdot \left(1 - \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}}, \quad (3)$$

где T – абсолютная температура воздуха на выходе, К;

R – универсальная постоянная воздуха, Дж/моль·К;

M – молярная масса воздуха, кг/моль;

P_1 – динамическое давление воздуха при выходе из форсунки, Па;

P_2 – стандартное давление окружающей среды, Па;

k – показатель адиабаты, $k = 1,4$.

Подставив в уравнение (3) значения, $k = 1,4$, $T = 293$ К, $P_1 = 4 \cdot 10^5$ Па, $P_2 = 1 \cdot 10^5$ Па, $R = 8,31$ Дж/(моль·К), $M = 0,29$ кг/моль, получим:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,4}{1,4-1} \cdot \frac{293 \cdot 8,31}{0,29} \cdot \left(1 - \left(\frac{1 \cdot 10^5}{4 \cdot 10^5} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right)} = 139 \text{ м/с.}$$

Вычислим необходимые параметры. Осевую скорость v_x движения воздушного потока определим следующим образом:

$$v_x = \frac{v_0 \cdot 0,48}{\frac{a \cdot x}{d_0} + 0,145} \quad (4)$$

Подставив в уравнение (4) имеющиеся значения $v_0 = 139$ м/с, $d_0 = 0,08$ м, $a = 0,07$, $x = 0,13$ м, получим:

$$v_x = \frac{139 \cdot 0,48}{\frac{0,07 \cdot 0,13}{0,008} + 0,145} = 29 \text{ м/с.}$$

Определим среднюю по расходу воздуха скорость v_{Gx} по формуле:

$$v_{Gx} = \frac{v_0 \cdot 0,226}{\frac{a \cdot x}{d_0} + 0,145} \quad (5)$$

Подставив в уравнение (5) ранее полученные значения, получим:

$$v_{Gx} = \frac{139 \cdot 0,226}{\frac{0,07 \cdot 0,13}{0,008} + 0,145} = 14 \text{ м / с}$$

Длину начального участка струи определим по формуле:

$$l_0 = \frac{0,335 \cdot d_0}{a} \quad (6)$$

После подстановки данных в уравнение (6), получим:

$$l_0 = \frac{0,335 \cdot 0,008}{0,07} = 0,038 \text{ м.}$$

Начальный расход воздуха на выходе из форсунки L_0 определим по формуле [8]:

$$L_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2 \cdot v_0}{4} \cdot 3600. \quad (7)$$

После подстановки в уравнение (7) числовых значений, получим:

$$L_0 = \frac{3,14 \cdot 0,008^2 \cdot 139}{4} \cdot 3600 = 25 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

Расход воздуха компрессора L_x определим по формуле:

$$L_x = \frac{L_0 \cdot 4,36}{\frac{a \cdot x}{d_0} + 0,145} \quad (8)$$

Подставив в уравнение (8) полученные ранее значения, получим:

$$L_x = \frac{25 \cdot 4,36}{\frac{0,07 \cdot 0,13}{0,008} + 0,145} = 48 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

Полученные выражения позволили рассчитать необходимые конструктивные и режимные параметры пневматической системы отделения некондиционных клубней картофеля: внутренний диаметр форсунки – $d_{\phi} = 4 \text{ мм}$; скорость воздушного потока – $v_0 = 139 \text{ м/с}$; расход воздуха – $L_x = 48 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для проверки и уточнения параметров воздушного потока, создаваемого форсункой, были проведены экспериментальные исследования. С этой целью

изготовлена установка, принципиальная схема которой представлена на рисунке 2.

Установка состоит из электродвигателя, ком-

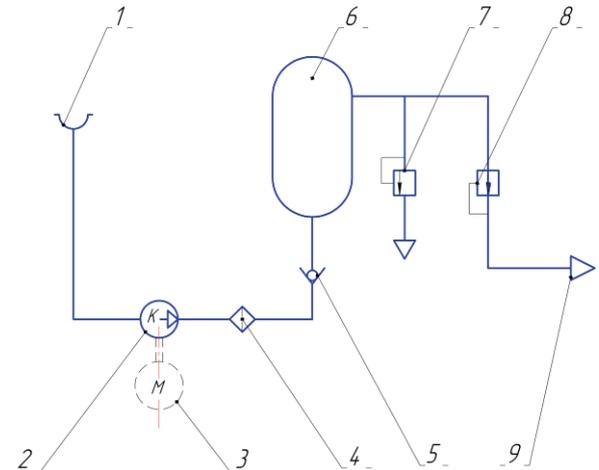


Рисунок 2. Принципиальная схема установки:
1 – воздушный фильтр; 2 – компрессор; 3 – электродвигатель; 4 – влагоотделитель; 5 – клапан обратный; 6 – ресивер; 7 – клапан предохранительный; 8 – клапан импульсный; 9 – форсунка

прессора, импульсного клапана, состоящего из клапана обратного, ресивера, клапана предохранительного; клапана электроуправляемого и форсунки, внутри которой находится жиклер. Перед форсункой располагается воздушный фильтр. После форсунки расположен влагоотделитель. Импульсный клапан осуществлял кратковременную подачу воздуха (рис. 3). Для управления режимом работы импульсного клапана специально изготовлен электронный управляющий блок. Блок управления позволяет установить необходимую длительность открытия клапана.

Технологический процесс работы установки заключается в следующем. Установка приводится в



Рисунок 3. Импульсный клапан

движение от электродвигателя 3. От компрессора 2 начинает подаваться воздушный поток определенного

давления, которое поддерживается ресивером 6. Воздушный поток очищается воздушным фильтром 1.

Клубни картофеля, поступающие на установку, движутся последовательно друг за другом. Система распознавания (СТЗ) определяет некондиционные клубни картофеля, и подает сигнал на импульсный клапан. Через импульсный клапан проходит струя воздуха, подаваемая через форсунку с жиклером 9 и

удаляет некондиционные клубни картофеля в контейнеры. Чтобы в районе форсунки не скапливалась влага, влагоотделитель 4 ее удаляет. Товарные клубни картофеля движутся по конвейерному потоку дальше, к машине весоупаковки и затариваются.

При помощи данных, полученных после эксперимента, построены графики зависимости радиуса воздушного потока от расстояния (рис. 4-7).

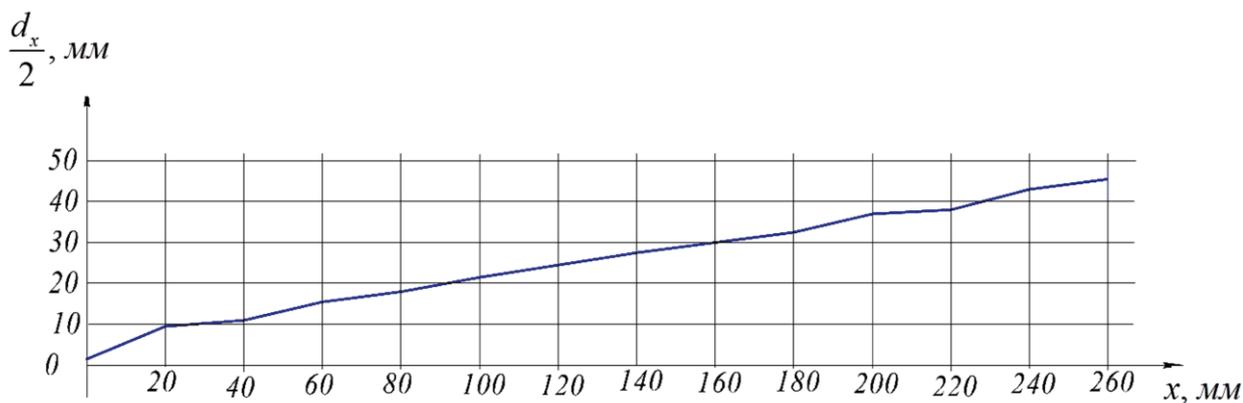


Рисунок 4. Воздушный факел форсунки: d=3 мм

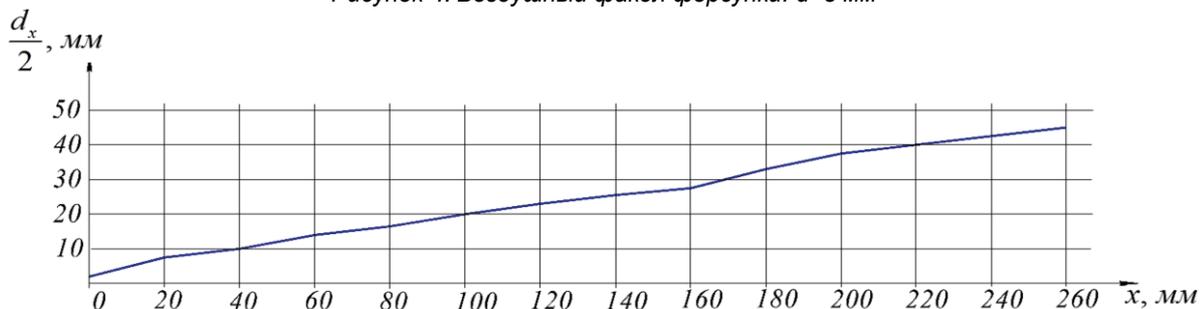


Рисунок 5. Воздушный факел форсунки: d=4 мм

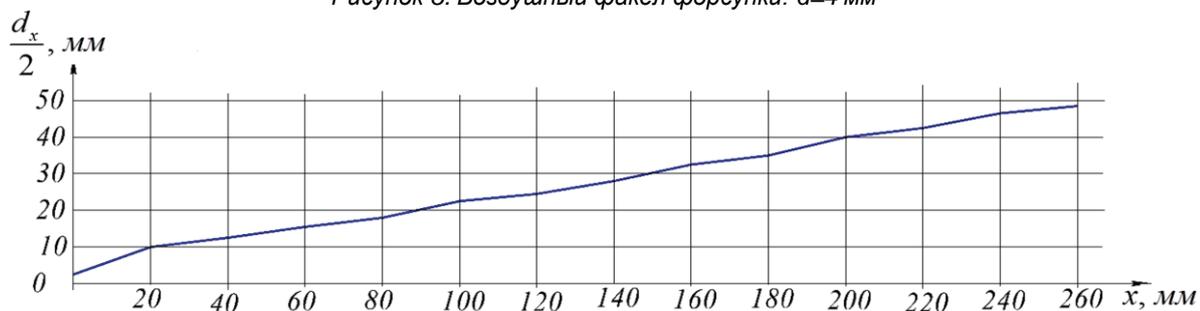


Рисунок 6. Воздушный факел форсунки: d=5 мм

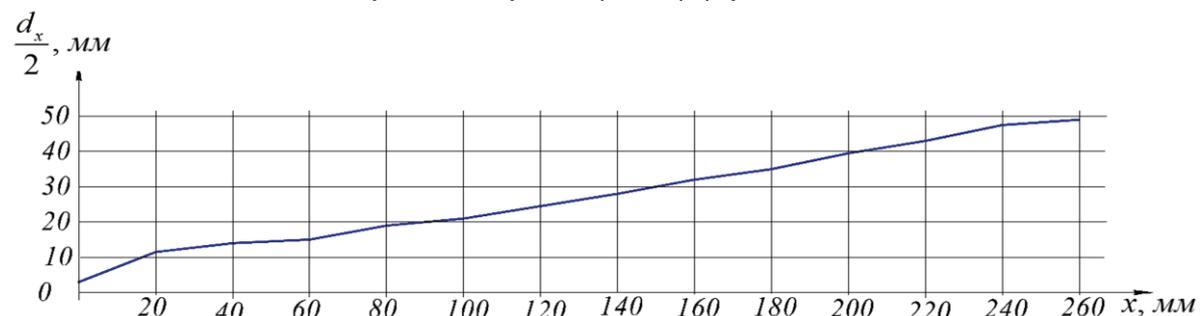


Рисунок 7. Воздушный факел форсунки: d=6 мм

Результаты измерений позволили скорректировать теоретические расчеты. Так, аналитически для $d_\phi = 4$ мм на расстоянии $x = 130$ мм диаметр сечения воздушного потока составил: $d_x = 70$ мм, экспериментально этот показатель составил $d_{x,э} = 50$ мм. Аналогичное расхождение имеют форсунки с жиклерами другого диаметра, в связи с чем предложено в выражении (1) ввод поправочного коэффициента $\psi = 0,7$.

После чего выражение (1) примет окончательный вид:

$$d_x = d_0 \cdot 6,8 \cdot \left(\frac{a \cdot x}{d_0} + 0,145 \right) \cdot \psi. \quad (9)$$

Заключение

В результате проведенных исследований теоретически определены основные параметры пневматической системы отделения некондиционных клубней: внутренний диаметр форсунки – $d_\phi = 4$ мм; скорость воздушного потока – $v_0 = 139$ м/с и расход воздуха компрессора – $L_x = 48$ м³/ч.

Анализ результатов, полученных экспериментальным путем, указывает на необходимость введения поправочного коэффициента – $\psi = 0,7$.

Данные исследования лягут в основу создания машины для оптической сортировки картофеля, которая сможет работать как отдельная единица, встраиваться в технологические линии за сухим способом очистки и будет распознавать и идентифицировать клубни картофеля, поступающие на сортировку ворохом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зейрук, В.Н. Как снизить потери картофеля при уборке и хранении / В.Н. Зейрук, К.А. Пшеченков // Картофель и овощи. – 2001. – № 4. – С. 6-9.
2. Fang, T. Nondestructive and rapid detection of potato black heart based on machine vision technology / T. Fang, P. Yankun, W. Wensong // Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety VIII. – China: Agricultural University. – V. 2. – China, 2016. – P. 83-94.
3. Takizawa, K. Development of nondestructive technique for detecting internal defects in Japanese radishes / K. Takizawa, K. Nakano, S. Ohashi, H. Yoshizawa, J. Wang, Y. Sasaki // Journal of Food Engineering. – Niigata University. – Japan, 2014. – P. 43-47.
4. Leiqing, P. Detection of cold injury in peaches by hyperspectral reflectance imaging and artificial neural network / P. Leiqing, Z. Qiang, Z. Wei, S. Ye, H. Pengcheng, T. Kang // Food chemistry. – Nanjing Agricultural University. – Shanghai, 2016. – P. 134-141.
5. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016 – 2020 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 11 марта 2016 г., № 196.
6. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика: учеб. руководство для втузов / Г.Н. Абрамович. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1991. – 600 с.
7. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Гидродинамика: учеб. пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука, 1986. – Т. VI. – 736 с.
8. Балаева, Н.А. Теоретические основы создания микроклимата в помещении [Текст]: метод. указания / Н.А. Балаева, Л.В. Артеева. – Ухта: УГТУ, 2012. – 28 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 29.04.2021

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.

Стоимость подписки на 2-е полугодие 2021 года: для индивидуальных подписчиков - 34,32 руб., ведомственная подписка - 36,03 руб.