

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОРТИРОВАНИЯ КОРНЕПЛОДОВ МОРКОВИ

А.М. ЗАЕЦ, аспирант (УО БГАТУ)

Аннотация

В статье описана методика проведения экспериментальной проверки устройства для сортирования корнеплодов моркови. Представлены конструктивные дополнения устройства. Приведены расчётные зависимости параметров отклика. Изложены результаты экспериментальной проверки устройства для сортирования корнеплодов.

Введение

В настоящее время обеспечение населения республики Беларусь качественной овощной продукцией в соответствии с потребностями, в частности, корнеплодами моркови, является актуальным, и выявило ряд проблем в бесперебойном снабжении торговой сети свежими и переработанными корнеплодами. Первостепенными недостатками в обеспечении являются малый удельный вес и большая сезонность возделывания моркови. Основная масса свежих корнеплодов закладывается на хранение в период с августа по октябрь, т. е. в течение трёх месяцев. При поставке моркови из хранилищ без доработки выявляется и такой недостаток, как неудовлетворительное качество из-за биологических особенностей корнеплодов моркови и различных сбоев в цепи «производство — торговля». К ним следует отнести и отсутствие надлежащей работы по послеуборочной доработке, сортировке, фасовке и упаковке, а также наличие устаревшего оборудования.

Устаревшая материально-техническая база плодоовощной отрасли не позволяет обеспечить конкурентоспособную продукцию из-за существующего оборудования и технологии, которые физически и морально устарели в большинстве организаций. Степень износа основных фондов отрасли с каждым годом увеличивается, и составляет 70%. [1].

С целью повышения товарного качества моркови было разработано устройство для сортирования корнеплодов моркови [2,3].

Основная часть

Эксперимент проводился по методике определения эффективности предлагаемой конструкции сортировальной поверхности в соответствии с общими принципами исследований по сельскохозяйственной механике на основании ОСТ 108.5-2000 «Условия проведения экспериментов», а показатели качества — по ОСТ 70.8.5-82 и сравнивались с требованиями стандартов на послеуборочную обработку корнеплодов моркови.

При проведении исследований, в качестве контрольного измерительного оборудования для контроля параметров скорости полотна подающего транспортера и ременной сортирующей поверхности использовался тахометр.

Для определения массы моркови использовались электронные весы ВБ – 25, линейные размеры корнеплодов моркови определялись с помощью штангенциркуля ШЦ-I.

При определении агротехнических показателей использовалась методика по ОСТ 70.41-80 «Испытания сельскохозяйственной техники».

Для проведения эксперимента использовалась партия моркови массой 400 кг. Полевая проверка состава овощной массы моркови показала, что в ней содержится: 16,2% мелкой фракции (диаметром менее 25мм), 72,3% средней фракции (диаметром от 25 до 60 мм), 11,5% крупной фракции (диаметром свыше 60 мм).

Для обработки результатов эксперимента партия моркови предварительно была рассортирована вручную с помощью калибра (рис. 1). Корнеплоды мелкой фракции были обозначены одним кольцевым пояском, а корнеплоды крупной фракции – двумя, как показано на рис. 2.

Результаты разделения моркови на фракции контролировались по коэффициенту точности сортирования партии, а также точности сортирования и степени потерь средней фракции и повреждении корнеплодов.

Экспериментальная проверка проводилась на лабораторной установке (рис. 3) [2]. Машина изготовлена в виде объёмной конструкции с размерами сортирующей поверхности 1500x640 мм. Поверхность образована системой расходящихся ремней, при движении которых размер калибрующей щели изменяется от 20 до 70мм. Изменение линейной скорости ремней осуществлялось за счёт коробки переменных передач (рис. 4), позволяющей получить 15 ступеней, что обеспечило движение от 0,4 до 1,3 м/с.

Так как на показатели точности сортирования оказывает влияние фракционный состав корнеплодов моркови, в конструкцию машины встроены подвижные разделительные щитки, позволяющие бес-



Рисунок 1. Калибр



Рисунок 2. Способ обозначения фракций

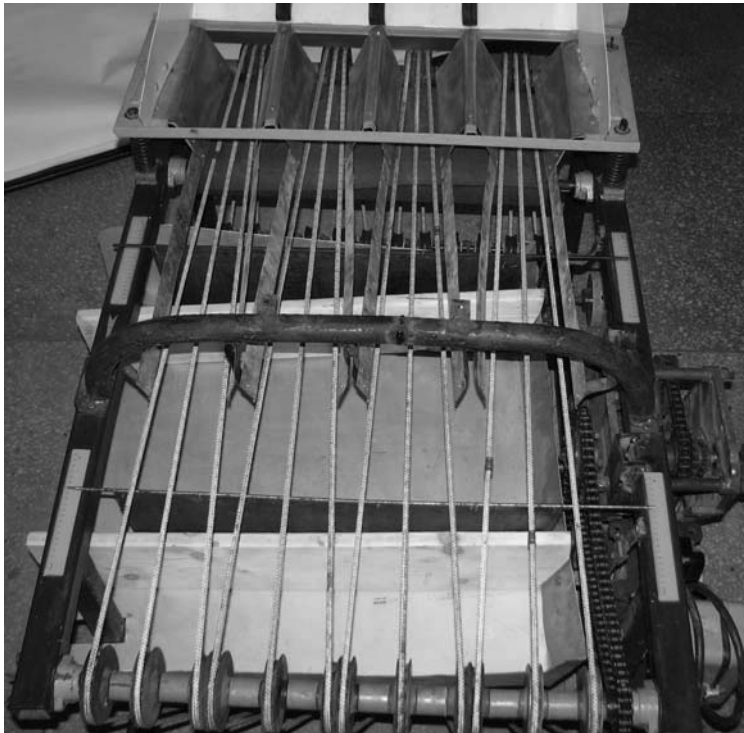


Рисунок 3. Сортировальная поверхность

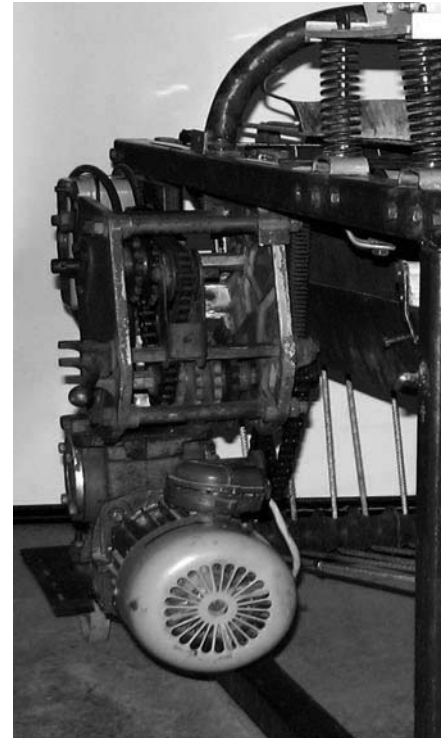


Рисунок 4. Устройство привода

ступенчато изменять размер калибрующей щели. Для контроля калибрующей щели использовались измерительные линейки (рис. 5).

На эффективность работы машины оказывает влияние положение корнеплода на сортирующей поверхности. Для обеспечения направленного движения корнеплода осью вдоль рабочей щели использовался приёмный лоток-ориентировщик, установленный в начале сортировки.

Конструкция сортировки позволила провести трёхфакторный эксперимент.

Целью программы экспериментальных исследований устройства для сортировки корнеплодов моркови являлось:

- ранжирование факторов, влияющих на процесс сортирования;
- оценка качества разделения корнеплодов на сортировальной поверхности по фракциям в зависимости от действующих факторов;



Рисунок 5. Способ контроля положения разделительных щитков

– определение допустимой степени загрузки по производительности сортировального устройства в зависимости от режимов работы и параметров рабочей поверхности;

– проверка адекватности результатов теоретических и лабораторных исследований.

С позиции системного анализа сортировальное устройство можно представить в виде сложной кибернетической многомерной системы вход-выход [4].

Выходными параметрами системы являлись агротехнические показатели разделения корнеплодов моркови на фракции, т.е. общий коэффициент точности сортирования r , коэффициент точности сортирования средней фракции r_{cp} и степень потерь средней фракции η .

Входные параметры, влияющие на выходные показатели системы:

- технологические – секундная подача корнеплодов моркови q , степень ориентации корнеплодов вдоль рабочей щели ξ ;

- кинематические – скорость ремней сортирующей поверхности V , угловая скорость кривошипа привода гирационного лотка ω ;

- конструктивные – положение делителей фракций L_1, L_2 , радиус кривошипа R , усилие натяжения ремней F , угол наклона ориентирующих щитков a .

Целью исследования функционирования модели является установление аналитической зависимости между входными факторами и параметрами отклика сортировального устройства.

На основе метода априорного ранжирования, используя опрос специалистов, в группу основных вошли следующие факторы:

- секундная подача корнеплодов моркови;
- скорость ремней сортирующей поверхности;
- положение первого делителя фракций;
- положение второго делителя фракций.

При проведении экспериментов скорость подающего транспортёра принята постоянной, а конструктивные параметры позволили обеспечить постоянную производительность системы за счёт одинаковой секундной подачи корнеплодов на входе в устройство для сортирования. На основании вышеизложенного, параметр был исключён из группы основных факторов.

С учётом скорости ремней и переменной ширины ременной поверхности, используя формулу расчёта производительности (1), строим график линий уровня теоретически возможной секундной производительности сортировальной поверхности (рис. 6):

$$Q = 3,6Bd_{cp}g_k\psi\rho_n, \quad (1)$$

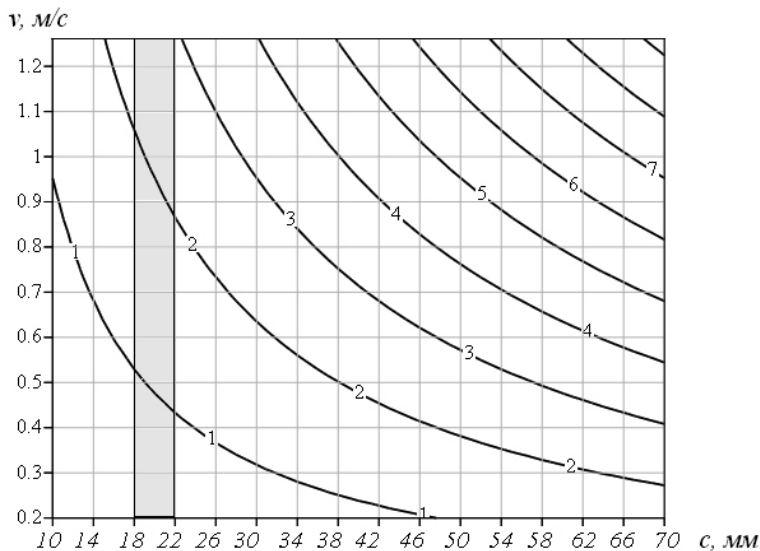


Рисунок 6. График линий уровня секундной производительности корнеплодов моркови в зависимости от скорости ремней v и калибрующего зазора c

где B – ширина рабочей поверхности (м);
 d_{cp} – средний размер корнеплода в сортируемой массе (м);

g_k – скорость движения корнеплодов по поверхности (м/с);

ψ – коэффициент заполнения поверхности (0,7...0,8);

ρ_n – плотность массы клубней (насыпная) (кг/м³).

При зазоре 20 ± 2 мм в зоне приёмного лотка и скорости ремней 0,8 м/с теоретическая секундная подача на приёмный лоток составляет 1,6 кг/с.

Примем: X_1 – скорость ремней сортирующей поверхности, X_2 – положение первого делителя фракций, X_3 – положение второго делителя фракций и составим табл. 1.

Уровни и интервалы факторов приняты на основании теоретических расчетов, поисковых опытов и рекомендаций, изложенных в работах [4, 5, 6, 7].

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровни и интервалы варьирования	Натуральные (X_i) и кодированные (x_i) значения факторов					
	Скорость ремней		Положение первого делителя		Положение второго делителя	
	$X_1, \text{ м/с}$	x_1	$X_2, \text{ мм}$	x_2	$X_3, \text{ мм}$	x_3
Верхний уровень	1,2	+1	28	+1	65	+1
Основной уровень	0,8	0	25	0	60	0
Нижний уровень	0,4	-1	22	-1	55	-1
Интервалы варьирования	0,4	1	3	1	5	1

Для оценки влияния трех факторов используем некомпозиционный план второго порядка с варьированием каждого фактора на трех уровнях ($\pm 1, 0$).

Определение области оптимума сортирования определяем, используя уравнение регрессии второго порядка в виде полного квадратичного полинома

$$y = b_0 + \sum_k b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (2)$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коэффициенты регрессии.

Коэффициенты уравнения регрессии определены по результатам эксперимента, с использованием зависимостей [4,5,6].

Результаты разделения моркови на фракции фиксировались для определения коэффициента точности сортирования средней фракции, общего коэффициента точности сортирования и степени потерь корнеплодов средней фракции [8].

На лабораторной установке при постоянной скорости подающего транспортёра исследовалась зависимость

$$r, r_{cp}, \eta_{cp} = f(\vartheta, L_1, L_2). \quad (3)$$

Примем кодировку исследуемых факторов: $x_1 = \vartheta$ – скорость ремней сортировальной поверхности, м/с; $x_2 = L_1$ – положение первого делителя между мелкой и средней фракцией, мм; $x_3 = L_2$ – положение второго делителя между средней и крупной фракцией, мм. Параметры отклика: $r = y_1$ – общий коэффициент точности сортирования, %; $r_{cp} = y_2$ – коэффициент точности сортирования средней фракции, %; $\eta_{cp} = y_3$ – степень потерь средней фракции, %.

Реализация данного эксперимента позволила получить аналитические модели:

– точность разделения моркови на фракции (расчёты коэффициентов полинома выполнены в программном пакете Mathcad 14) [9]

$$y_1 = 94.433 - 0.763x_1 + 1.175x_2 - 3.042x_1^2 - 0.742x_2^2 - 3.417x_3^2 \quad (4)$$

С учётом принятой кодировки и значения факторов уравнение регрессии примет вид:

$$r = 28.512\vartheta - 19.012\vartheta^2 - 0.082L_1^2 + 4.122L_1 - 0.137L_2^2 + 16.637L_2 - 473.885 \quad (5)$$

– для точности сортирования моркови средней фракции

$$y_2 = 95.8 - 0.656x_1 + 3.462x_2 - 0.994x_3 - 1.994x_1^2. \quad (6)$$

С учётом принятой кодировки и значения факторов уравнение регрессии примет вид:

$$r_{cp} = 18.3\vartheta - 12.463\vartheta^2 + 1.154L_1 - 0.199L_2 + 72.214 \quad (7)$$

– для степени потерь моркови средней фракции

$$y_3 = 2.7 + 3.897x_2 - 2.598x_3 + 1.840x_2^2 + 1.678x_3^2 \quad (8)$$

С учётом принятой кодировки и значения факторов уравнение регрессии примет вид:

$$\eta_{cp} = 0.204L_1^2 - 8.923L_1 + 0.067L_2^2 - 8.574L_2 + 370.811 \quad (9)$$

На рис. 7 представлены зависимости точности сортирования от скорости ремней v и величины калибрующего зазора L_1 , построенные на основании математической модели (5).

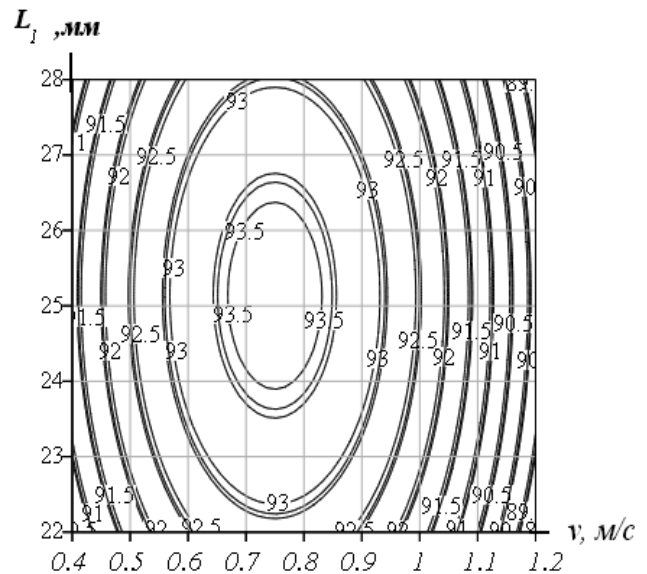


Рисунок 7. График линий уровня общей точности сортирования

Максимальная точность разделения обеспечивается при скорости ремней 0,75 м/с.

Используя значение скорости ремней 0,75 м/с по зависимостям (5,7,9), строим график линий уровня общей точности сортирования, точности сортирования и степени потерь средней фракции в зависимости от величины L_1 и L_2 калибрующего зазора (рис. 8).

На рис. 8 представлен график, позволяющий определить точность разделения корнеплодов на фракции при различных положениях разделительных щитков по величине калибрующего зазора.

Максимальная точность разделения корнеплодов на фракции ограничена 93%. Задавшись необходимой точностью сортирования средней фракции в зоне минимальных потерь, можно определить необходимое значение калибрующих зазоров.

Выводы

1. В результате проведенных экспериментов получены математические модели сортирования корнеплодов моркови с учётом точности сортирования и степени потерь средней фракции.

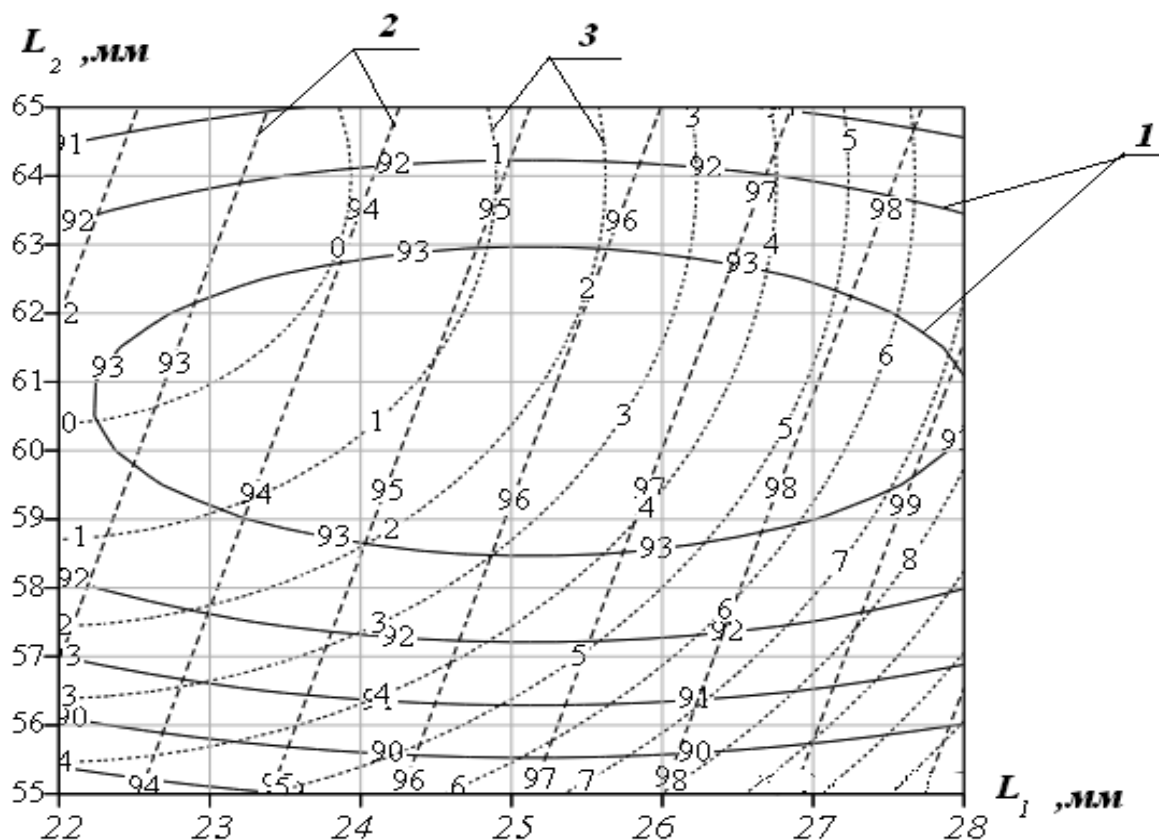


Рисунок 8. График линий уровня:

1 – линии уровня общей точности сортирования; 2 – линии уровня точности сортирования средней фракции; 3 – линии уровня степени потерь

2. Рассматривая общую точность сортирования и точность сортирования средней фракции, установили, что коэффициент точности сортирования достигает максимального значения при скорости ремней $\mathcal{G} = 0.75$ м/с и постоянной подаче корнеплодов 1,6 кг/с.

3. Степень потерь средней фракции зависит только от положения делителей между фракциями и уменьшается с перемещением делителей в направлениях от среднего значения размера корнеплода.

4. Полученные графические зависимости позволяют устанавливать необходимую величину калибрующих щелей в зависимости от точности выделения средней фракции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экономика организаций и отраслей агропромышленного комплекса: в 2 кн. Кн. 2/ В.Г. Гусаков [и др.]; под общ. ред. акад. В.Г. Гусакова. – Минск: Беларус. наука, 2007. – 891 с.

2. Устройство для сортирования корнеплодов: пат. 828 Респ. Беларусь, U МПК А 23N 15/00/ Р.С. Сташинский, А.М. Заец; заявитель Беларус. гос. аграрн. техн. ун-т. – № u 20020192; заявл. 08.07.2002;

опубл. 30.03.2003// Офиц. бюл./ Нац. центр интеллектуал. собственности. – 2003. – №1. – С. 197.

3. Заец, А.М. Обоснование и расчёт параметров процесса сортирования корнеплодов моркови / А.М. Заец // Агропанорама.– 2008. – №5. – С. 44-48.

4. Будник, А.В. Планирование измерительного эксперимента и обработка результатов измерений: учеб. пособ. для вузов/ А.В. Будник, Е.В. Галузо, К.В. Андрухович. – Минск: БГУИР, 2003. – 47 с.

5. Жарский, И.М. Планирование и организация эксперимента: учеб. пособ. для вузов/ И.М. Жарский, Б.А. Коледин, И.Ф. Кузьмицкий. – Минск: БГТУ, 2003 – 178 с.

6. Жогаль, С.П. Основы регрессивного анализа и планирования эксперимента: учеб. пособ. / С.П. Жогаль, С.И. Жогаль, В.И. Максимей. – Гомель: гос. ин-т им. Ф.Скорины, 1997. – 92 с.

7. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

8. Колчин, Н.Н. Комплексы машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля и овощей/ Н.Н. Колчин. – М.: Машиностроение, 1982. – 268 с.

9. Макаров, Е. Инженерные расчёты в Mathcad 14(+CD)/ Е. Макаров. – СПб.: Питер, 2007.