

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОЧИСТИТЕЛЯ ПОЧВЕННЫХ ПРИМЕСЕЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ СЕПАРАЦИИ ЛУКА-СЕВКА

Сибирёв Алексей Викторович¹, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Аксёнов Александр Генадьевич¹, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Емельянов Павел Александрович², профессор, доктор технических наук

¹ФГБНУ ФНАЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства»

²ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»

¹109428, РФ, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5

² 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая д.30, тел. (841-2) 628-517; тел.: 8 (499) 171-43-49;

e – mail: sibirev2011@yandex.ru

Ключевые слова: цилиндрический очиститель, частота вращения, луковицы, лук-севок, полнота сепарации, многофакторный эксперимент.

Целью проведения лабораторных исследований цилиндрического очистителя почвенных примесей являлось обоснование его технологических параметров, при которых обеспечиваются качественные показатели сепарации луковиц лука-севка от почвенных комков, соизмеримых по размерам с луковицами. При проведении экспериментов по обоснованию технологических параметров цилиндрического очистителя объектом исследований являлся процесс сепарации лука-севка от почвенных примесей. Предметом исследований являлся показатель, характеризующий качество сепарации лука-севка от почвенных комков, а именно полнота сепарации луковиц от почвенных примесей. За критерий оптимизации при проведении исследований выбран качественный показатель сепарации луковиц – полнота отделения почвенных примесей из вороха лука-севка. После обработки результатов исследований на основании теории многофакторного эксперимента получены значения функции отклика – полнота сепарации луковиц от почвенных примесей. Результаты проведенных исследований представлены в виде двумерных сечений, анализ исследований проведен методом вариационной статистики. В результате проведения лабораторных исследований цилиндрического очистителя почвенных примесей установлено, что максимальная полнота сепарации вороха лука-севка находится в диапазоне 98,8%...99,3%, которая обеспечивается при частоте вращения приемного вальца $n_1=47,8...49,8$ об/мин, частоте вращения сепарирующих вальцов $n_2=41,7...43,4$ об/мин, межсевого расстояния между приемным и сепарирующими вальцами $S_1=338...387$ мм. Таким образом, оценивая работу в целом можно заключить, что результаты исследований цилиндрического очистителя почвенных примесей, являются практически значимыми при создании машинно-технологических комплексов для уборки лука-севка. В связи с тем, что в настоящее время остро стоит проблема импортозамещения отечественным семенным материалом российских производителей лука, что невозможно выполнить без современных высокопроизводительных машин.

Введение

Повышение конкурентоспособности отечественных товаропроизводителей определяет необходимость разработки и производства высокопроизводительных машин нового поколения для возделывания овощных культур [1, 2]. Заключительным звеном технологической цепочки возделывания сельскохозяйственных культур является уборка урожая. От качества выполнения этого технологического процесса зависят длительность хранения и сохранность продукции, а для культур, убираемых по двухфазной технологии - еще и качество подбора из валков и повреждаемость продукции [3, 4].

К одной из наиболее ценных культур, используемой как посадочный материал и убираемой по наиболее предпочтительной двухфазной технологии, относится лук-севок. Такая технология предусматривает:

- выкапывание лука-севка из почвы и укладывание его в валки;

- подбор лука-севка из валков после дозревания с погрузкой в транспортное средство.

Особенностью уборки лука-севка является то, что в луко-почвенном ворохе, поступающем с выкапывающих рабочих органов на сепарирующие, имеются почвенные комки, соизмеримые по размерам с луковицами лука-севка. Такие комки трудно отделить на щелевых (прутковых элеваторах, грохотах) рабочих органах. Для решения данной проблемы многими учеными (Ларюшиным Н.П., Ларюшиным А.М., Протасовым А.А., Шардиной Г.Е., Рейнгартом Э.С. и другими), разработаны технические средства, способствующие снижению или исключению поступления в луко-почвенный ворох почвенных комков [4, 5, 6]. Проведенный анализ технических решений показал, что отделение луковиц

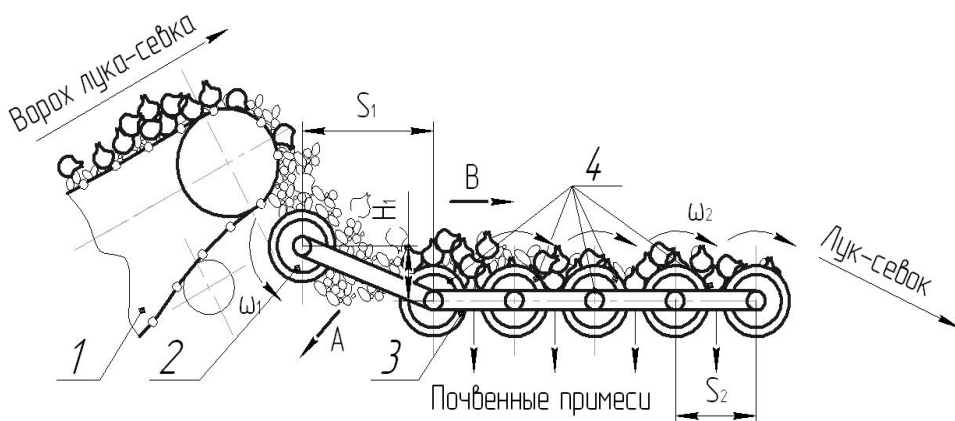


Рис. 1 – Конструктивно-технологическая схема цилиндрического очистителя почвенных примесей (обозначения в тексте)

от почвенных комков (сепарацию) необходимо осуществлять по комплексу признаков. Отделение корнеклубнеплодов и лука от примесей в механических сепараторах основано на использовании физико-механических свойств взаимодействующих продуктов: коэффициентов трения, коэффициентов формы поверхности, коэффициентов восстановления скорости, массы, плотности и прочностных характеристик. Это связано с тем, что выделение почвенных комков на прутковых транспортерах и грохотах происходит по размерным признакам, но это не решает существующую проблему – сепарацию почвенных комков, соизмеримых по размерам с луковицами лука-севка. Таким образом, технология очистки луковиц лука-севка от соизмеримых с ними почвенных комков, несмотря на применение современных машин, все еще несовершенна и требует новых научно-обоснованных технических решений [2, 3, 4, 5, 6].

Объекты и методы исследований

В качестве одного из технических решений при отделении лука-севка от почвенных комков при его машинной уборке предлагается конструкция цилиндрического очистителя почвенных примесей (рис. 1.) лукоуборочной машины [7].

Рабочая поверхность цилиндрического очистителя почвенных примесей образована набором параллельных обрезиненных валцов: приемного 2 и сепарирующих 4, установленных на общей раме 3 очистителя. Для интенсификации процесса очистки луковиц лука-севка от почвенных примесей приемный валец 2 очистителя со стороны пруткового элеватора 1 расположен со смещением в вертикальной и горизонтальной плоскостях на величины H_1 и S_1 . Сепарирующие валцы 4 вращаются в сторону схода

луковиц с одинаковой угловой скоростью ω_2 , а приемный валец 2 вращается в противоположном направлении с угловой скоростью ω_1 .

Работа цилиндрического очистителя почвенных примесей основана на принципах различной связности комков почвы и луковиц лука-севка, который заключается в следующем.

Обрабатываемый ворох лука-севка движется в направлении вращения валцов 2 и 4 с поверхности пруткового элеватора 1. После предварительной очистки вороха лука-севка в момент его схода с поверхности пруткового элеватора 1 луковицы и комки почвы взаимодействуют с поверхностью приемного вальца 2. Почвенные комки в результате соударения с приемным вальцом 2 из-за своих физико-механических характеристик приобретают траекторию движения, отличную от луковиц, т.е. почвенные комки скатываются в направлении вращения приемного вальца 2 на поверхность поля. Почвенные комки при соударении с приемным вальцом 2 отскакивают от его поверхности в направлении схода А, так как соизмеримые с луковицами комки почвы обладают большей массой, и их траектория движения будет отличаться от траектории полета луковиц.

Луковицы, обладающие большей эластичностью и способностью к качению по сравнению с почвенными комками, скатываются с вальца 2 на дальнейшую сепарацию в направлении В по поверхности цилиндрического очистителя. Цилиндрический очиститель почвенных примесей позволяет очищать луковый ворох от почвенных комков, которые не сепарируются на прутковых элеваторах лукоуборочных машин, обеспечивая полноту отделения почвенных примесей из вороха лука-севка в пределах, соответствующих агротехническим требованиям к уборке [8, 9].

Для определения оптимальных технологических параметров цилиндрического очистителя почвенных примесей были проведены экспериментальные исследования на лабораторной установке (рис. 2.). Исследования проводили в 2015...2016 годах в соответствии с СТО АИСТ 8.5-2010 «Испытания сельскохозяйственной тех-

ники. Машины для уборки и послеуборочной обработки картофеля. Методы оценки функциональных показателей» [8].

Лабораторная установка для определения оптимальных технологических параметров (частоты n_1 вращения приемного вальца, частоты n_2 вращения сепарирующих валцов, межосевого расстояния S_1 между приемным и рабочими вальцами, межосевого расстояния S_2 между рабочими вальцами, высоты H_1 установки центров вращения приемного и сепарирующего валцов (рис. 1) цилиндрического очистителя почвенных примесей) состоит из лопастного питателя 2, приводимого во вращение электродвигателем 3, через клиноременную передачу, состоящую из ведущего 4 и ведомого 5 шкивов. Приемный валец 6 цилиндрического очистителя получает вращение от установленного на опорной плите 9 электродвигателя 7 через частотный преобразователь 8.

Конструкцией лабораторной установки предусмотрено регулирование технологических параметров посредством перемещения приемного вальца 6 в подшипниковых опорах 9 по направляющим 11 и 12, а также частоты вращения приемного и сепарирующих валцов с помощью частотных преобразователей 8 и 14.

Сепарирующие 13 вальцы вращаются от электродвигателя 15 посредством клиноременной передачи 16. После схода вороха лук-севка и комки почвы собираются в контейнеры 17 и 18 соответственно.

Методика проведения исследований заключается в следующем.

Для определения полноты сепарации луковок лука-севка от почвенных примесей был приготовлен вручную следующий количественный состав луко-почвенного вороха (лук-севка сорта «Штутгартер Ризен») при влажности почвы 23 % (в соответствии с фракционным составом, сходящим с выгрузного транспортера лукоуборочной машины):

- луковки лука-севка – 65 %;
- примеси – 35 %, в т. ч.:
- растительные примеси – 5%;
- мелкие почвенные примеси – 15%;

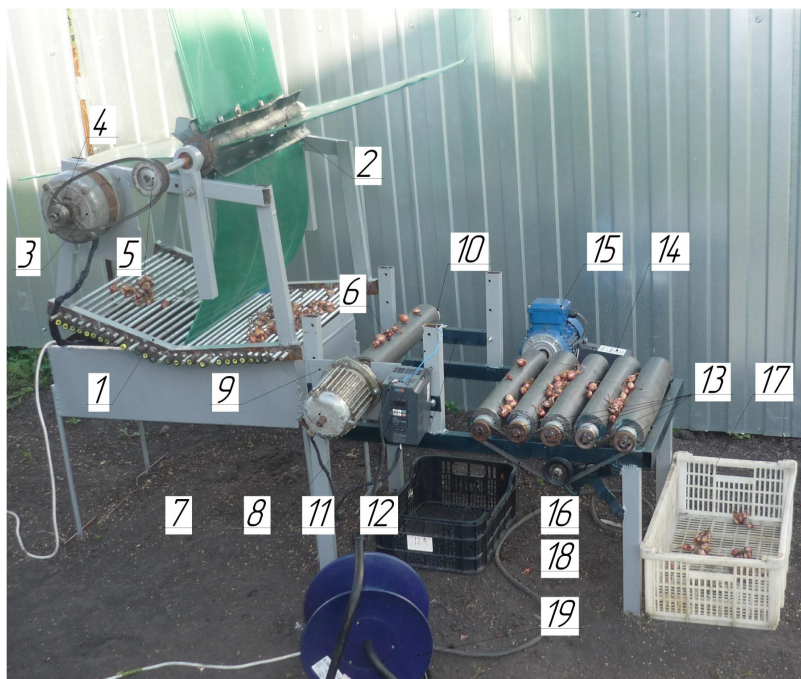


Рис. 2 – Общий вид лабораторной установки для определения технологических параметров цилиндрического очистителя лука-севка от почвенных примесей: 1 – решето сепарирующее; 2 – питатель лопастной; 3, 7, 15 – электродвигатель; 4, 5 – ведущий и ведомый шкивы; 6 – валец приемный; 8, 14 – преобразователь частотный; 9 – плита опорная; 10 – опора подшипниковая; 11, 12 – направляющие; 13 – вальцы сепарирующие; 16 – передача клиноременная; 17, 18 – контейнер; 19 – фильтр сетевой

- комки почвы, соизмеримые по размерам со стандартной фракцией луковок лука-севка (поперечный размер) – 10 %;

- комки почвы, имеющие больший поперечный размер – 5 %.

Ворох лука-севка укладывали на рабочую поверхность сепарирующего решета 1 (рис. 2). Далее на основании априорной информации устанавливали значения технологических параметров (S_2 и H_1) цилиндрического очистителя почвенных примесей в следующем диапазоне [10] (рис. 1):

- межосевое расстояние между сепарирующими вальцами $S_2 = 0,01$ м (минимальный диаметр луковки не менее 0,009 м);

- высота установки центра вала приемного вальца относительно центра вала сепарирующего вальца $H_1 = 0,025$ м (максимально допустимая высота падения луковок – 0,5...1 м).

После этого включали в электрическую сеть последовательно электрические двигатели 14, 6 и 2. Ворох лука-севка на цилиндрический очиститель почвенных примесей подавали лопастным питателем 2 с забором луко-почвенно-

Матрица планирования 3-х факторного эксперимента и уровни варьирования факторов

№ опыта	Фактор		
	Частота вращения приемного вальца n_1 , мин ⁻¹	Частота вращения сепарирующих вальцов n_2 , мин ⁻¹	Межосевое расстояние между приемным и сепарирующими вальцами S_1 , м
	X_1	X_2	X_3
1	1	1	0
2	-1	-1	0
3	1	-1	0
4	-1	1	0
5	1	0	1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	-1	0	1
9	0	1	1
10	0	-1	-1
11	0	1	-1
12	0	-1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

го вороха с поверхности сепарирующего решета 1, на котором равномерно по всей поверхности распределяли приготовленный луко-почвенный ворох массой 30 кг.

Интенсивность подачи вороха лука-севка на приемный валец 6 цилиндрического очистителя почвенных примесей регулировали изменением частоты вращения лопастного питателя 2 посредством замены ведущего 4 и ведомых 5 шкивов. Следует учитывать тот факт, что цилиндрический очиститель почвенных примесей включен в технологическую схему лукоуборочной машины и его ширина, а следовательно, и ширина сепарирующих элеваторов совпадает с шириной питателя уборочной машины. Из-за того, что при исследованиях невозможно оценить влияние всех факторов и их взаимодействий, на основании априорной информации, а также, исходя из конкретных задач исследования, были выделены наиболее значимые факторы, определяющие полноту сепарации лука-севка от почвенно-растительных примесей.

Результаты исследований

С первоначально выбранными, наиболее существенными факторами, влияющими на полноту сепарации лука-севка, проводили отсеивающий эксперимент, по результатам которого после обработки получили информацию о значимости каждого параметра. Это позволило исключить из дальнейшего рассмотрения мало-значимые факторы и снизить объем дальней-

ших исследований.

Для проведения отсеивающего эксперимента была составлена матрица с учетом первоначально выделенных факторов методом случайного смешивания двух полуреплик типа 2^{4-1} . После проведения отсеивающего эксперимента малозначимые факторы были отсеяны и установлены три наиболее значимых фактора, влияющие на качество сепарации лука-севка, а именно:

- частота вращения приемного вальца n_1 , мин⁻¹;
- частота вращения сепарирующих вальцов n_2 , мин⁻¹;
- межосевое расстояние между приемным и сепарирующим вальцами S_1 , м.

За критерий оптимизации был выбран качественный показатель сепарации луковиц – полнота сепарации V вороха лука-севка.

После обработки результатов многофакторного эксперимента с помощью компьютерной программы *Statistika 6.0* были получены значения функции отклика – полноты отделения почвенных примесей из вороха лука-севка при варьировании факторов, в соответствии с планом второго порядка Бокса–Бенкина (табл. 1).

Получена адекватная математическая модель в кодированном виде, описывающая зависимость от выбранных факторов полноты сепарации $n = f(n_1, n_2, S_1)$ вороха лука-севка:

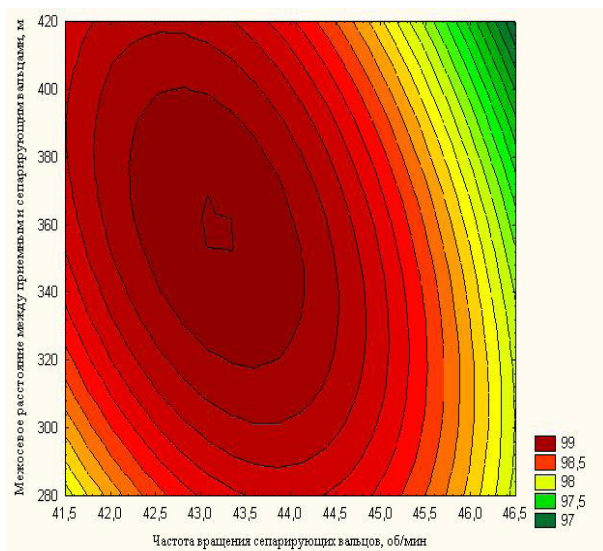


Рис. 3 – Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее полноту сепарации вороха лука-севка от частоты вращения сепарирующих вальцов и межосевого расстояния между приемным и сепарирующим вальцами

$$Y = 99,59 + 0,21x_1 - 0,38x_2 + 0,27x_3 - 0,93x_1^2 - 0,58x_2^2 - 0,26x_3^2 - 0,97x_1x_2 - 0,2x_1x_3 - 0,25x_2x_3, \quad (1)$$

где Y критерий оптимизации, %.

Уравнение (1) в раскодированном виде имеет следующий вид:

$$Y = -1280,93 + 33,58n_1 + 24,87n_2 + 0,16S_1 - 0,23n_1^2 - 0,14n_2^2 - 0,0013S_1^2 - 0,24n_1n_2 - 0,0062n_1S_1 - 0,0025n_2S_1. \quad (2)$$

Для получения двухмерного сечения поверхности отклика, характеризующей полноту сепарации лукович от почвенных примесей, в уравнение (1) подставляем значение $x_1 = 0$, $x_1 = 0$. В результате получаем уравнение:

$$Y = 99,59 - 0,38x_2 + 0,27x_3 - 0,58x_2^2 - 0,26x_3^2 - 0,2x_1x_3 - 0,25x_2x_3. \quad (3)$$

Определяем координаты центра поверхности функции отклика дифференцированием уравнения (3) и решением системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_2} = -0,38 - 1,16x_2 - 0,25x_3 = 0, \\ \frac{dy}{dx_3} = 0,27 - 0,52x_3 - 0,25x_2 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Решив систему уравнений (4), найдем координаты центра поверхности: $x_2 = -0,398$, $x_3 = 0,326$ (в раскодированном виде $n_2 = 43,2$ мин⁻¹, $S_1 = 366,3$ мм). Подставив значения x_2 и x_3 в уравнение (3), получим значение функции отклика в центре поверхности: $Y_S = 99,76$ %.

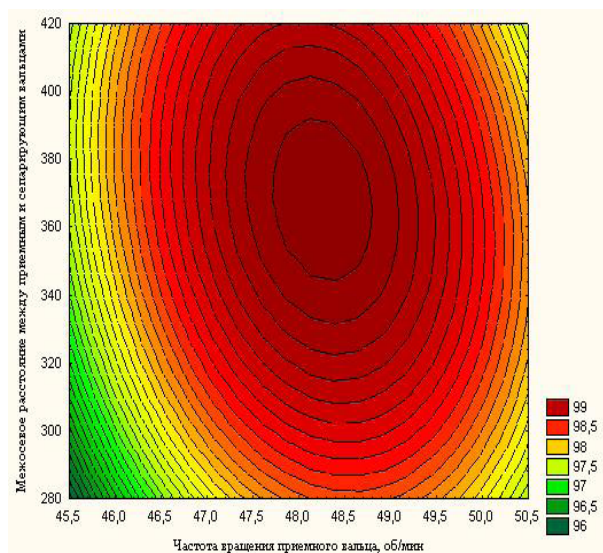


Рис. 4 – Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее полноту сепарации вороха лука-севка от частоты вращения приемного вальца и межосевого расстояния между приемным и сепарирующими вальцами

Подставляя различные значения функции отклика в уравнение (3), получали уравнения контурных кривых – эллипсов (рис. 3).

Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее полноту сепарации лукович от почвенных примесей и частоты вращения приемного вальца x_1 и межосевого расстояния между приемным и сепарирующими вальцами x_3 , описывается уравнением (1) при $x_2 = 0$, после чего:

$$Y = 99,59 + 0,21x_1 + 0,27x_3 - 0,93x_1^2 - 0,26x_3^2 - 0,27x_1x_3; \quad (5)$$

После дифференцирования уравнения (5) получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = 0,21 - 1,86x_1 - 0,27x_3 = 0, \\ \frac{dy}{dx_3} = 0,27 - 0,52x_3 - 0,27x_1 = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Координаты центра поверхности отклика: $x_1 = 0,04$, $x_3 = 0,502$ (соответственно в раскодированном виде $n_1 = 47,92$ м/с, $S_1 = 375,1$ мм). Подставив значения x_1 и x_3 в уравнение (5), получим значение функции отклика в центре поверхности: $Y_S = 99,67$ %. На основании полученных данных построили двухмерное сечение (рис. 4).

Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее полноту качества сепарации вороха лука-севка от частоты вращения

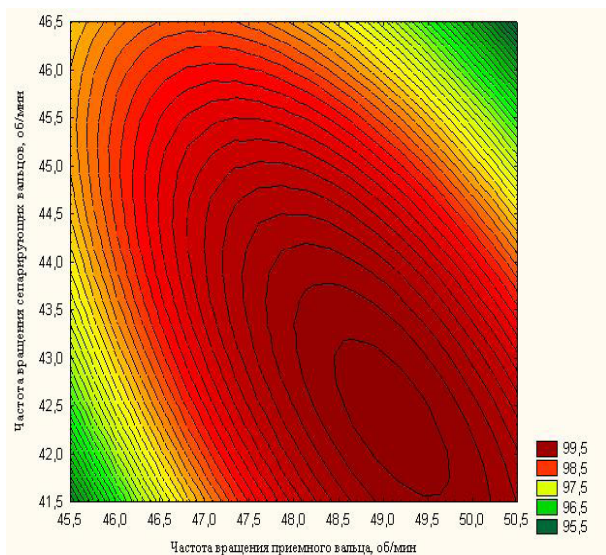


Рис. 5 – Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее полноту сепарации вороха лука-севка от частоты вращения приемного вальца и частоты вращения сепарирующих вальцов

приемного вальца x_1 и частоты вращения сепарирующих вальцов x_2 описывается уравнением (1) при $x_3 = 0$, после чего:

$$Y = 99,59 + 0,21x_1 - 0,38x_2 - 0,93x_1^2 - 0,58x_2^2 - 0,97x_1x_2$$

(7)

Продифференцировав уравнение (9) и решив систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = 0,21 - 1,86x_1 - 0,97x_2 = 0, \\ \frac{dy}{dx_2} = -0,38 - 1,16x_2 - 0,97x_1 = 0, \end{cases} \quad (8)$$

получим координаты центра поверхности отклика $x_2 = -0,957$ (соответственно в раскодированном виде $n_1 = 49,22$ мин⁻¹, $n_2 = 42,08$ мин⁻¹). На основании полученных данных построили двухмерное сечение (рис. 5).

Подставив значения x_1 и x_2 в уравнение (7), получим значение функции отклика в центре поверхности: $Y_s = 99,77\%$.

Выводы

Разработанная лабораторная установка позволила определить оптимальные технологические параметры цилиндрического очистителя почвенных примесей, обеспечивающие качественную сепарацию лука-севка в соответствии с СТО АИСТ 8.7 – 2013 «Машины для уборки овощных и бахчевых культур. Методы оценки

функциональных показателей».

Анализ двухмерных сечений, изображенных на рисунках 3 – 5, показал, что максимальная полнота сепарации вороха лука-севка находится в диапазоне 98,8...99,3 %. Она обеспечивается при частоте вращения приемного вальца $n_1 = 47,8...49,8$ мин⁻¹, частоте вращения сепарирующих вальцов $n_2 = 41,7...43,4$ мин⁻¹, межосевом расстоянии между приемным и сепарирующими вальцами $S_1 = 338...387$ мм.

Библиографический список

1. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства / А.Ю. Измайллов, Н.Н. Колчин, Я.П. Лобачевский, Н.Г. Кынев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. - №3. – С. 43 – 47.
2. Алдошин, Н.В. Стабильность технологических процессов в растениеводстве / Н.В. Алдошин // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 2007.- № 3.- С. 5-7.
3. Ларюшин, А.М. Энергосберегающие технологии и технические средства для уборки лука: дис. ... д-ра технических наук / А. М. Ларюшин. – Пенза, 2010. – 426 с.
4. Протасов, Андрей Анатольевич. Совершенствование технологических процессов и технических средств для уборки лука: дис. ... д-ра технических наук / А.А. Протасов. – Саратов, 2005. – 355 с.
5. Шардина, Галина Евгеньевна. Совершенствование технологического процесса машинной уборки лука-репки с обоснованием рабочего органа для активного предуборочного рыхления междурядий: дис. ... канд. технических наук / Г.Е. Шардина. – Саратов, 2000. – 168 с. Ларюшин, Николай Петрович. Научные основы разработки комплекса машин для уборки и послеуборочной обработки лука: дис. ... д-ра технических наук / Н.П. Ларюшин. – Рязань, 1996. – 350 с.
6. Патент 2585481 Россия, МПК А01 D17/00. Машина для уборки лука-севка / А.Г. Аксенов, С.А. Прямов, А.В. Сибирёв. – № заяв. 24.06.2015; опубл. 27.05.2016, Бюл. № 15.
7. СТО АИСТ 8.7-2013. Машины для уборки овощных и бахчевых культур. Методы оценки функциональных показателей. – Введен 15.04.2004г. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 81 с.
8. Зволинский, В.Н. Роль почвенного канала при изучении процессов в системе «рабочий орган-почва» / В.Н. Зволинский, М.А. Мосяков,

Н.Ю. Николаенко // Тракторы и сельхозмашины.
– 2016.- № 1.- С. 36-40.

9. Хвостов, В.А. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет) / В.А. Хвостов, Э.С. Рейнгарт. – М, 1995. – 391 с.

TEST LABORATORY RESEARCH OF CYLINDRICAL ELIMINATOR OF SOIL IMPURITIES IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SEED ONION SEPARATION

Sibiryov A.V.¹, Aksenov A.G.¹, Emelyanov P.A.²

¹ FSBSI FNAC "All-Russian Scientific Research Institute of Mechanical aids in agriculture "

² FSBEI HE "Penza State Agrarian University"

1 - 109428, Russia, Moscow, 1-st Institutsky dr.,5

2 - 440014, Penza, Botanicheskay st.,30,

tel.: (841-2) 628-517; tel.: 8 (499) 171-43-49; e - mail: sibirev2011@yandex.ru

Key words: cylindrical eliminator, rotation frequency, onions, seed onion, perfection of separation, multifactor experiment.

The purpose of laboratory studies of a cylindrical soil purifier was to justify its technological parameters, which help to provide high-quality onion-seed separation from soil lumps, equal in size to the onion seeds. When carrying out experiments to justify the technological parameters of the cylindrical eliminator, the object of the study was the process of onion separation from soil impurities. The subject of the study was the parameter which characterises the quality of onion separation from soil lumps, namely the perfection of separation from soil impurities. For the improvement criterion in the course of the research, a qualitative parameter of onion separation is chosen - the perfection of separation of soil impurities from a heap of onion seeds. After processing the results of the studies, the values of the response function - the perfection of onion separation from soil impurities were obtained on the basis of the theory of a multifactor experiment. The results of the studies are presented in the form of two-dimensional sections, the analysis of the studies was carried out by means of method of variational statistics. As a result of laboratory studies of a cylindrical soil purifier, it was found that the maximum perfection of onion separation is in the range of 98,8% ... 99,3%, which is ensured at a rotation speed of the intake drum = 47,8 ... 49,8 rpm, the rotation speed of the separating drums = 41,7 ... 43,4 rpm, the interaxle distance between the intake and separating drums - 338 ... 387 mm. Thus, assessing the work as a whole, it can be concluded that the results of studies of the cylindrical soil purifier are practically significant when creating machine-technological complexes for harvesting onion seeds. In the light of the acute problem of import substitution by seed material of Russian onion producers, it is impossible to solve this problem without modern highly-efficient machines.

Bibliography

1. Modern technologies and special equipment for potato growing / A.Y. Izmailov, N.N. Kolchin, Y.P. Lobachevskiy, N.G. Kynev // *Agricultural machines and technologies*. - 2015. - № 3. - P. 43 - 47.
2. Aldoshin, N.V. Stability of technological processes in plant growing / N.V. Aldoshin // *Mechanization and electrification of agriculture*. - 2007.- № 3.- P. 5-7.
3. Laryushin, A.M. Energy-saving technologies and technical aids for onion harvesting: dissertation of Doctor of Technical Sciences / A.M. Laryushin. - Penza, 2010. - 426 p.
4. Protasov, Andrey Anatolievich. Improvement of technological processes and technical aids for onion harvesting: dissertation of Doctor of Technical Sciences / A.A. Protasov. - Saratov, 2005. - 355 p.
5. Shardina, Galina Evgenievna. Improvement of technological process of onion machine harvesting with the substantiation of the working body for active pre-harvest inter-row loosening: dissertation of Candidate of Technical Sciences / G.E. Shardina. - Saratov, 2000. - 168 p.
6. Laryushin, Nikolai Petrovich. Scientific basis for the development of a machine complex for harvesting and post-harvest processing of onions: dissertation of the Doctor of Technical Sciences / N.P. Laryushin. - Ryazan, 1996. - 350 p.
7. Patent 2585481 Russia, IPC A01 D17 / 00. The machine for harvesting onion seeds/ A.G. Aksenov, S.A. Pryamov, A.V. Sibiryov. - №. of appl. 24.06.2015; Publ. 27.05.2016, Bul. № 15.
8. Standards of Association of test engineers of agricultural machines and technology 8.7-2013. Machines for harvesting vegetable and melon crops. Methods for assessing performance parameters. - Introduced 15.04.2004. - Moscow: Publishing house of Standards, 2014. - 81 p.
9. Zvolinskiy, V.N. The role of the soil parametre in the study of processes in the «working body-soil» system / V.N. Zvolinskiy, M.A. Mosyakov, N.Y. Nikolaenko // *Trucks and agricultural machines*. - № 1.- P. 36-40.
10. Khvostov, V.A. Machines for harvesting root crops and onions (theory, design, calculation) / V.A. Khvostov, E.S. Reingart. - M, 1995. - 391 p.