

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕПАРИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ МАШИНЫ ДЛЯ УБОРКИ КАРТОФЕЛЯ

А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов, М.А. Мосяков, Н.В. Сазонов

Реферат. Уборка картофеля в условиях повышенной влажности почвы накладывает ограничения на выполнение технологического процесса, связанные с невозможностью очистки товарной продукции от механических примесей в результате забивания влажной почвой рабочей поверхности очистительных устройств различного исполнения. Для сокращения сроков выполнения уборки при сохранении показателей качества работы разработана сепарирующая система, предусматривающая возможность использования теплоты отработавших газов. Цель исследования – обоснование технологических параметров сепарирующей системы с использованием теплоты отработавших газов машины для уборки картофеля в условиях повышенной влажности почвы. В качестве объекта исследований принятая сепарирующая система картофелеуборочного комбайна, представленная прутковым элеватором с установленными дефлекторами обдува рабочей поверхности отработавшими газами силовой установки, для имитации которых в лабораторных условиях использовали тепловую пушку. Методика исследований предусматривала определение показателей качества очистки клубней картофеля на сепарирующем устройстве, в зависимости от таких технологических параметров, как расстояние между сепарирующей поверхностью и дефлектором, а также поступательная скорость движения пруткового элеватора. Полнота сепарации клубней картофеля при уборке в условиях повышенной влажности почвы в постоянном обдувом тепловой пушкой рабочей поверхностью пруткового элеватора при оптимальных величинах рассматриваемых факторов (расстояние между прутковым элеватором и дефлектором $S_d=127,8$ мм, поступательная скорость движения пруткового элеватора $V_d=1,67$ м/с) достигает 96,5 %. Результаты статистической обработки экспериментальных данных свидетельствуют об адекватности математической модели зависимости полноты очистки клубней картофеля от исследуемых технологических параметров сепарирующей системы.

Ключевые слова: экспериментальные исследования, клубни, картофель, отработавшие газы, система сепарации, прутковый элеватор.

Введение. Возделывание картофеля и овощных культур предусматривает комплекс мероприятий, направленных на повышение и сохранение показателей качества товарной продукции, а также снижение энергетических затрат на основных операциях производства [1, 2, 3].

Известно, что в совокупности затрат энергетических ресурсов при производстве овощных культур и картофеля более 50 % приходится на технологический процесс уборки. Это связано со сложностью выполнения таких операций, как подкапывание, сепарация от почвенных и растительных примесей, погрузка в транспортное средство [4, 5].

Кроме того, уборка проходит в период выпадения значительного количества осадков, что накладывает ряд своих ограничений [6, 7]. В первую очередь это усложняет очистку товарной продукции от почвенных примесей повышенной влажности, способствующих залипанию рабочей поверхности очистительных устройств и ухудшению показателей качества их работы. Для решения этой проблемы в ФНАЦ ВИМ разработана сепарирующая система с использованием теплоты отработавших газов силовой установки энергетического средства [5, 6]. Для подтверждения повышения качества работы при ее использовании необходимо выполнить экспериментальные исследования по обоснованию оптимальных режимных и технологических параметров этой системы.

Цель исследования – определение оптимальных параметров сепарирующей системы с использованием теплоты отработавших газов

машины для уборки картофеля в лабораторных условиях.

Условия, материалы и методы. Исследования по определению показателей качества работы сепарирующей системы с очистительным устройством в виде пруткового элеватора [7, 8] с использованием теплоты отработавших газов машины для уборки картофеля проводили на лабораторной установке (рис. 1, 2). Она

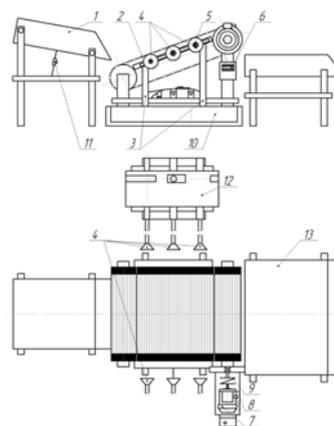


Рис. 1 – Конструктивно-технологическая схема лабораторной установки сепарирующей системы картофелеуборочного комбайна Varitron 270/470: 1 – бункер для предварительного размещения вороха; 2 – сепарирующий прутковый элеватор; 3 – стойки опорные; 4 – дефлекторы; 5 – воздухопровод; 6 – преобразователь частотный; 7 – электродвигатель; 8 – плита опорная, редуктор; 9 – муфта предохранительная; 10 – лоток сбора примесей; 11 – механизм винтовой; 12 – пушка тепловая; 13 – емкость сепарированной продукции.

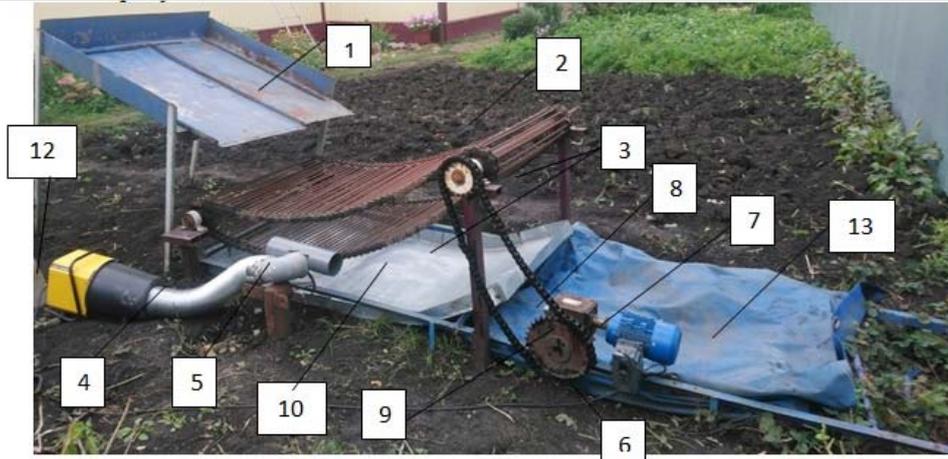


Рис. 2 – Общий вид лабораторной установки сепарирующей системы картофелеуборочного комбайна Varitron 270/470: 1 – емкость для предварительного размещения вороха; 2 – сепарирующий прутковый элеватор; 3 – стойки опорные; 4 – дефлекторы; 5 – воздуховод; 6 – преобразователь частотный; 7 – электродвигатель; 8 – редуктор одноступенчатый; 9 – муфта предохранительная; 10 – лоток сбора примесей; 11 – передача цепная; 12 – пушка тепловая; 13 – брезент сепарированной продукции

представляет собой комплект оборудования [9, 10, 11], включающий взаимосвязанные между собой сепарирующую систему и имитатор системы отработавших газов двигателя внутреннего сгорания тепловую пушку марки «ТЭПК-3000К» (рис. 3).

Выбор наиболее значимых факторов (табл. 1), влияющих на качество очистки клубней картофеля в условиях повышенной влажности почвы, с определением интервалов их варьирования был выполнен при проведении отсеивающих экспериментов [12, 13, 14] – это расстояние между сепарирующей поверхностью и дефлектором (м) и поступательная скорость движения пруткового элеватора (м/с). Критерий оптимизации (Y) – полнота сепарации корнеплодов (v, %).

Результаты и обсуждение. В результате многофакторного эксперимента по определению полноты сепарации v в условиях повы-

шенной влажности почвы было получено выражение, которое характеризует зависимость между полнотой сепарации и технологическими параметрами сепарирующей системы (1):

$$Y = 186,04 - 0,21x_1 - 97,94x_2 + 0,005x_1^2 + 28,01x_2^2 + 0,06x_1x_2 \quad (1)$$

Результаты статистической обработки экспериментальных данных (табл. 2) свидетельствуют об адекватности представленной выражением (1) математической модели, так как значение критерия Фишера F_T при 5 %-ном уровне значимости для полученного уравнения: $F_{расч} (5,2/2,42=2,16) < F_{табл} (7,71)$.

Определить координаты оптимального сочетания исследуемых факторов можно дифференцировав уравнение (1):

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = -0,21 + 0,1x_1 + 0,06x_2 = 0, \\ \frac{dy}{dx_2} = -97,94 + 56,02x_2 + 0,06x_1 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

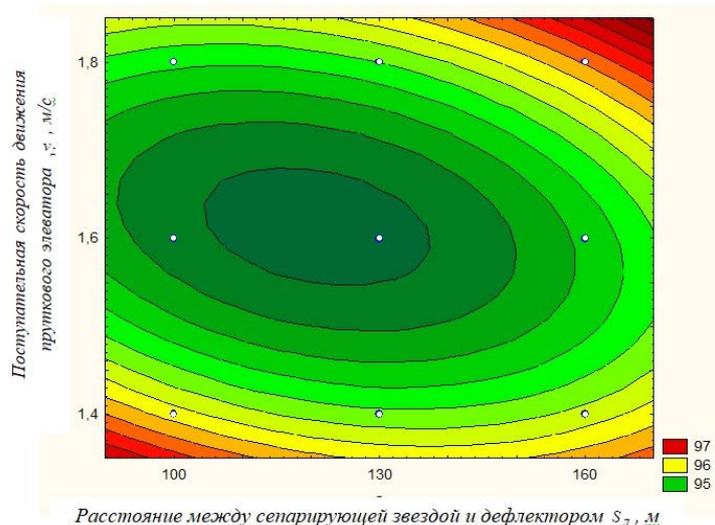


Рис. 3 – Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость полноты сепарации вороха корнеплодов (%) от поступательной скорости движения пруткового элеватора (м/с) и расстояния между прутковым элеватором и дефлектором (м)

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов при сепарации вороха корнеплодов сепарирующей системой (прутковый элеватор) с тепловой очисткой

ДУровень варьирования	Варьируемый фактор	
	расстояние между сепарирующей поверхностью и дефлектором (X_1), м	поступательная скорость движения пруткового элеватора (X_2), м/с
Верхний (+1)	160	1,8
Нижний (-1)	100	1,4
Основной (0)	130	1,6

Таблица 2 – Статистические характеристики ошибки опыта*

№	Y_1	Y_2	Y_3	\bar{Y}_u	\hat{Y}_u	S_y^2	S_{LF}^2	$(Y_u - \hat{Y}_u)^2$
1	97,6	98,3	96,9	97,6	96,91	0,68	0,451	1,845
2	93,5	95,6	94,7	94,6	94,48	1,27	0,457	1,786
3	97,8	94,4	96,4	96,2	95,71	1,37	0,453	2,365
4	93,8	95,7	94,6	94,7	95,48	0,02	0,034	0,075
5	98	97,4	96,8	97,4	96,75	0,04	0,023	0,073
6	92,4	91,6	90,5	91,5	92,03	0,04	0,048	0,167
7	95,6	96,7	94,8	95,7	95,85	1,35	0,765	1,246
8	93,4	95,6	94,8	94,6	94,48	0,24	0,073	1,363
9	97,6	96,8	97,5	97,3	96,48	0,07	0,046	0,129
10	93,4	89,8	93,7	92,3	93,54	0,02	0,035	0,071
11	94,7	93,9	95,2	94,6	94,54	0,02	0,008	0,045
12	91,2	92,3	91,6	91,7	94,35	0,04	0,019	0,067
13	95,8	94,7	95,1	95,2	94,85	0,04	0,017	0,067
Σ	-	-	-	1233,4	-	5,2	2,429	9,29

* Y_1, Y_2, Y_3 – значение критерия оптимизации серии опытов;
 \bar{Y}_u – среднее значение критерия оптимизации;
 \hat{Y}_u – среднее значение критерия оптимизации, вычисленное по уравнению регрессии;
 S_y^2 – дисперсия ошибки опыта;
 S_{LF}^2 – дисперсия неадекватности математической модели;
 $(Y_u - \hat{Y}_u)^2$ – дисперсия ошибки в определении коэффициентов уравнения регрессии.

На основании решения системы уравнений (2) значение исследуемого критерия оптимизации: $x_1 = 1,05, x_2 = 1,74$ (в раскодированном виде $S_d = 127,8$ мм, $S_d v_d = 1,67$ м/с). Эти формулы можно переписать

Выполнив подстановку факторов x_1 и x_2 в систему уравнений (2), получим величину критерия оптимизации в центре исследуемого сечения:

$$Y_s = 96,48. \quad (3)$$

Преобразование системы уравнений (2) позволяет получить уравнение в канонической форме:

$$Y - 96,48 = 0,0013x_1^2 - 0,386x_2^2. \quad (4)$$

Смещение осей поверхности отклика определяется согласно выражению (5):

$$\operatorname{tg} 2\alpha_2 = \frac{0,005}{0,11 - 0,005} = 0,056, \quad (5)$$

где угол $\alpha_2 = -1,48^\circ$

Подстановка конкретных значений критерия оптимизаций в уравнение (4) позволила определить оптимальное сочетание исследуе-

мых факторов (рис. 3). Согласно результатам анализа построенной графической зависимости сепарирующая система с использованием теплоты отработавших газов обеспечивает полноту сепарации более 95 % при расстоянии между прутковым элеватором и дефлектором $S_d = 127,8$ мм и поступательной скорости движения пруткового элеватора $v_d = 1,67$ м/с.

Выводы. Результаты проведенных экспериментальных исследований сепарирующей системы уборочной машины с использованием теплоты отработавших газов силовой установки (работа которой в лабораторных условиях представлена тепловой пушкой) в условиях повышенной влажности почвы свидетельствуют о том, что при расстоянии между прутковым элеватором и дефлектором $S_d = 127,8$ мм, а также поступательной скорости движения пруткового элеватора $v_d = 1,67$ м/с полнота очистки клубней картофеля в условиях повышенной влажности почвы составляет 95 %.

Литература

1. Машинная технология производства лука / Я. П. Лобачевский, П. А. Емельянов, А. Г. Аксенов и др. М.: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. 168 с.
2. Хвостов В.А., Рейнгарт Э.С. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет). М.: ВИМ, 1995. 391 с.
3. Калинин А. Б., Теплинский И. З., Кудрявцев П. П. Почвенное состояние в интенсивной технологии // Картофель и овощи. 2016. № 2. С. 35–36.
4. Haverkort A. J., Struik P. C. Potato in progress (science meets practice). Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2005. 366 p.
5. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. // Research in Agricultural Engineering. 2017. Vol. 1. P. 22–31.
6. Development of Potato Harvesting Model / A. U. Dongre, R. Battase, S. Dudhale, et al. // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2017. Vol. 4. No. 2. P. 1567–1570.
7. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2012. Vol. 2. P. 304–314.
8. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition / J. Q. Lü, H. Sun, H. Dui, et al. // Transactions of the CSAM. 2017. Vol. 48. No. 11. P. 146–155.
9. Design optimization and experiment on potato haulm cutter / J. Q. Lü, Q. Q. Shang, Y. Yang, et al. // Transactions of the CSAM. 2016. Vol. 47. No. 5. P. 106–114.
10. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield / R. E. Sojka, D. J. Horne, C. W. Ross, et al. // Soil and Tillage Research. 1997. Vol. 40. No. 3-4. P. 25–144.
11. Гаврилов А. А., Игнатов М. С., Эфрос В. В. Расчет поршневых двигателей внутреннего сгорания: Расчет циклов и нагрузок, действующих в кривошипно-шатунном механизме: учебное пособие. Владимир: Владимирский государственный университет, 2002. Ч.1. 142 с.
12. Ларюшин Н. П., Кухарев О. Н., Кирюхина Т. А. Исходные положения при проектировании машин для уборки лука // Наука в центральной России. 2015. № 6(18). С. 48–58.
13. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур / А. Б. Калинин, В. А. Смелик, И. З. Теплинский и др. // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 39. С. 315–319.
14. Ларюшин А.М. Качественные показатели выкапывающего устройства лукоуборочной машины // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 3. С. 46–47.

Сведения об авторах

Дорохов Алексей Семенович – доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научно-организационной работе; e-mail: dorokhov@rgau-msha.ru
 Аксенов Александр Геннадьевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве; e-mail: 1053vim@mail.ru
 Сибирёв Алексей Викторович – доктор технических наук, старший научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве; e-mail: sibirev2011@yandex.ru
 Мосяков Максим Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве; e-mail: maks.mosyakov@yandex.ru.
 Сазонов Николай Викторович – младший научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, e-mail: sazonov_nikolay@mail.ru
 Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия.

RESULTS OF LABORATORY STUDIES OF THE SEPARATING SYSTEM WITH THERMAL ENERGY OF CLEANING THE POTATO HARVESTING MACHINE
 A.S. Dorokhov, A.G. Aksenov, A.V. Sibiryev, M.A. Mosyakov, N.V. Sazonov

Abstract. Harvesting potatoes in conditions of high soil moisture imposes restrictions on the implementation of the technological process associated with the impossibility of cleaning marketable products from mechanical impurities as a result of clogging the working surface of cleaning devices of various designs with wet soil. To reduce the time of cleaning while maintaining the quality of work, a separating system has been developed that provides for the possibility of using the heat of exhaust gases. The purpose of the study is to substantiate the technological parameters of the separating system using the heat of the exhaust gases of a potato harvester in conditions of high soil moisture. As an object of research, the separating system of a potato harvester, represented by a bar elevator with installed deflectors for blowing the working surface with exhaust gases from a power plant, whose operation under laboratory conditions is represented by a heat gun, was adopted. A laboratory setup and a methodology for conducting research on a separating system have been developed to determine the quality indicators of harvesting and justify technological parameters that affect the quality of cleaning potato tubers - the distance between the separating surface and the deflector, as well as the forward speed of the rod elevator. It has been established that the completeness of separation of potato tubers during harvesting in conditions of high soil moisture by constant blowing with a heat gun of the working surface of the rod elevator at the optimal values of the factors under consideration (the distance between the rod elevator and the deflector $S_D=127.8$ mm, the translational speed of the rod elevator $v_D=1, 67$ m/s) reaches 96.5%. The results of statistical processing of experimental data indicate the adequacy of the mathematical model of the dependence of the completeness of cleaning potato tubers on the studied technological parameters of the separating system.

Keywords: experimental research, tubers, potatoes, exhaust gases, separation system, bar elevator.

References

1. Lobachevskii YaP, Emel'yanov PA, Aksenov AG. Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka. [Machine technology for onion production]. Moscow: FGBNU FNATs VIM. 2016; 168 p.
2. Khvostov VA, Reingart ES. Mashiny dlya uborki korneplodov i luka (teoriya, konstruktsiya, raschet). [Machines

- for harvesting root crops and onions (theory, design, calculation)]. Moscow: VIM. 1995; 391 p.
3. Kalinin AB, Teplinskii IZ, Kudryavtsev PP. [Soil condition in intensive technology]. *Kartofel' i ovoshchi*. 2016; 2. 35-36 p.
 4. Haverkort AJ, Struik PC. *Potato in progress (science meets practice)*. Netherlands: Wageningen Academic Publishers. 2005; 366 p.
 5. Mayer V, Vejchar D, Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. *Research in Agricultural Engineering*. 2017; 1. 22-31 p.
 6. Dongre AU, Battase R, Dudhale S. Development of potato harvesting model. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2017; 4 (2). 1567-1570 p.
 7. Farhadi R, Sakenian N, Azizi P. Design and construction of rotary potato grader. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012; 2. 304-314 p.
 8. Lü JQ, Sun H, Dui H. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition. *Transactions of the CSAM*. 2017; 48 (11). 146-155 p.
 9. Lü JQ, Shang QQ, Yang Y. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Transactions of the CSAM*. 2016; 47 (5). 106-114 p.
 10. Sojka RE, Horne DJ, Ross CW. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. *Soil and Tillage Research*. 1997; 40 (3-4). 25-144 p.
 11. Gavrilov AA, Ignatov MS, Efros VV. *Raschet porshnevnykh dvigatelei vnutrennego sgoraniya: Raschet tsiklov i nagruzok, deistvuyushchikh v krivoshipno-shatunnom mekhanizme: uchebnoe posobie*. [Calculation of piston internal combustion engines: Calculation of cycles and loads acting in the crank mechanism: textbook]. Vladimir: Vladimirkii gosudarstvennyi universitet. 2002; 1. 142 p.
 12. Laryushin NP, Kukharev ON, Kiryukhina TA. [Initial provisions in the design of onion harvesting machines]. *Nauka v tsentral'noi Rossii*. 2015; 6 (18). 48-58 p.
 13. Kalinin AB, Smelik VA, Teplinskii IZ. [Selection and justification of the parameters of the ecological state of the agroecosystem for monitoring the technological processes of cultivation of agricultural crops]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015; (39). 315-319 p.
 14. Laryushin AM. [Qualitative indicators of the digging device of the onion harvester]. *Traktory i sel'skokhozyaistvennye mashiny*. 2008; (3). 46-47 p.

Authors:

Dorokhov Aleksey Semenovich - Doctor of Technical sciences, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for scientific and organizational work; e-mail: dorokhov@rgau-msha.ru
 Aksenov Aleksandr Gennadievich - Doctor of Technical sciences, leading researcher of Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing; e-mail: 1053vim@mail.ru
 Sibirev Aleksey Viktorovich – Doctor of Technical sciences, senior researcher of Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing; e-mail: sibirev2011@yandex.ru
 Mosyakov Maksim Aleksandrovich – Ph.D. of Technical sciences, senior researcher of Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing; e-mail: maks.mosyakov@yandex.ru.
 Sazonov Nikolay Viktorovich – junior researcher, Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, e-mail: sazonov_nikolay@mail.ru
 Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia