

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.356

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-2-4-7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ В СЕПАРИРУЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНАХ МАШИН ДЛЯ УБОРКИ КОРНЕПЛОДОВ И КАРТОФЕЛЯ

ДОРОХОВ АЛЕКСЕЙ СЕМЕНОВИЧ, член-корр. РАН, д-р техн. наук, главный научный сотрудник
dorokhov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018

СИБИРЁВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ, д-р техн. наук, старший научный сотрудник
sibirev2011@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>; Researcher ID: M-6230-2016

АКСЕНОВ АЛЕКСАНДР ГЕННАДЬЕВИЧ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник
1053vim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>; Researcher ID: V-5572-2017

МОСЯКОВ МАКСИМ АЛЕКСАНДРОВИЧ✉, канд. техн. наук, старший научный сотрудник
Maks.Mosyakov@yandex.ru✉

САЗОНОВ НИКОЛАЙ ВИКТОРОВИЧ, младший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5

Аннотация. Процесс уборки картофеля и овощных культур происходит в сезонный период выпадения наибольшего количества осадков, что усложняет очистку товарной продукции от почвенных примесей повышенной влажности, способствующих залипанию рабочей поверхности очистительных устройств и ухудшению показателей качества их работы. С целью устранения этой проблемы проведены теоретические исследования сепарирующей системы с тепловой энергией очистки отработавших газов силовой установки по обоснованию конструктивных и технологических параметров её отдельных функционирующих элементов. Установлены зависимости по определению площади сепарирующей поверхности, представленной щелевыми очистительными рабочими органами – прутковым элеватором и очистительной звездой. Выполнено обоснование межсезонного расстояния между дефлекторами, междефлекторного расстояния, межтранспортного расстояния, а также поступательной скорости движения пруткового элеватора. Определена схема распределения тепловых потоков отработавших газов на сепарирующей поверхности машин для уборки корнеплодов и картофеля. Выполненное обоснование режимов работы и технологических параметров сепарирующей системы с теплотой отработавших газов для уборки корнеплодов и картофеля и представленная схема распределения тепловых потоков отработавших газов на сепарирующей поверхности машин позволят в дальнейшем провести экспериментальные исследования по совершенствованию отдельных элементов машин для уборки корнеклубнеплодов.

Ключевые слова: уборка, теоретическое обоснование, параметры, картофель, корнеплоды, рабочие органы, машина для уборки.

Формат цитирования: Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А., Сазонов Н.В. Использование теплоты отработавших газов в сепарирующих рабочих органах машин для уборки корнеплодов и картофеля // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 2. С. 4-7. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-4-7>.

© Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А., Сазонов Н.В., 2022



ORIGINAL PAPER

EXHAUST GAS HEAT UTILIZATION IN SEPARATING WORKING UNITS OF ROOT CROP AND POTATO HARVESTERS

ALEKSEI S. DOROKHOV, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng)
dorokhov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018

ALEKSEI V. SIBIRYOV, DSc (Eng), Senior Research Engineer
sibirev2011@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>; ResearcherID: M-6230-2016

ALEKSANDR G. AKSENOV, PhD (Eng), Lead Research Engineer
1053vim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>; ResearcherID: V-5572-2017

MAKSIM A. MOSYAKOV[✉], PhD (Eng), Senior Research Engineer

Maks.Mosyakov@yandex.ru[✉]

NIKOLAY V. SAZONOV, Junior Research Engineer

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5, 1st Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract. Harvesting potatoes and vegetable crops coincides with the seasonal peak of precipitation. As a result, the factor complicates the cleaning of marketable products from highly humid soil impurities, which cause the working surface sticking of cleaning devices and decrease their performance. To eliminate this problem, the authors carried out theoretical studies of the separation system working on thermal energy for cleaning the exhaust gases of the power plant. The goal was to determine the design and technological parameters of its individual functioning elements. Relationships were established to determine the separating surface area of slotted cleaning units – a bar elevator and a cleaning sprocket. The analysis helped determine the inter-axial distance between the deflectors, the inter-deflector distance, the inter-conveyor distance, and the translational speed of the rod elevator. The authors obtained the heat flow distribution pattern of exhaust gases on the separating units of root crop and potato harvesters. The study outcomes – the operating modes and technological parameters of the separating system using the heat of exhaust gases for harvesting root crops and potatoes and the heat flow distribution pattern of exhaust gases over the separating surface – will be helpful for further experimental research to improve individual units for harvesting root crops.

Key words: harvesting, theoretical justification, parameters, potatoes, root crops, working units, harvester.

For citation: Dorokhov A.S., Sibiryov A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A., Sazonov N.V. Exhaust gas heat utilization in separating working units of root crop and potato harvesters. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(2): 4-7. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-4-7>.

Введение. Возделывание картофеля и овощных культур предусматривает выполнение комплекса мероприятий, направленных на повышение и сохранение показателей качества товарной продукции, а также на снижение энергетических затрат в процессе основных операций производства [1, 2].

При производстве овощных культур и картофеля, ввиду сложности выполнения операций подкапывания, сепарации от почвенных и растительных примесей, а также загрузки в транспортное средство, технологический процесс уборки занимает более 50% совокупных затрат энергетических ресурсов [3, 4].

Процесс уборки происходит в сезонный период выпадения наибольшего количества осадков, что усложняет очистку товарной продукции от почвенных примесей повышенной влажности, способствующих залипанию рабочей поверхности очистительных устройств и ухудшению показателей качества их работы [5-7].

Выдвинута научная гипотеза, заключающаяся в том, что повысить энергетическую эффективность уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы можно путем одновременного выполнения операций подкапывания, сепарации от почвенных и растительных примесей с обдуванием сепарирующей поверхности горячими выхлопными газами силовой установки уборочной машины.

Для выполнения технологического процесса уборки корнеплодов в условиях повышенной влажности в ФНАЦ ВИМ разработана сепарирующая система с тепловой энергией очистки отработавших газов [8, 9], для которой необходимо провести исследования по обоснованию оптимальных режимов работы и технологических параметров¹.

Цель исследования: теоретическое обоснование конструктивных и технологических параметров рабочих органов машин для уборки корнеплодов и картофеля сепарирующей системы с тепловой энергией очистки отработавшими газами силовой установки самоходного уборочного комбайна.

Материалы и методы. Для равномерного обдува рабочей поверхности пруткового элеватора необходимо обеспечить распределение отработавших газов по длине $L_{эл}$ сепарирующей поверхности с перекрытием тепловых потоков Q_T , то есть необходимо выполнить обоснование параметров: межсоевое расстояние S_d между дефлекторами, м; междудефлекторное расстояние $B_{дл}$, м; межтранспортное расстояние $B_{дэл}$, м (рис. 1).

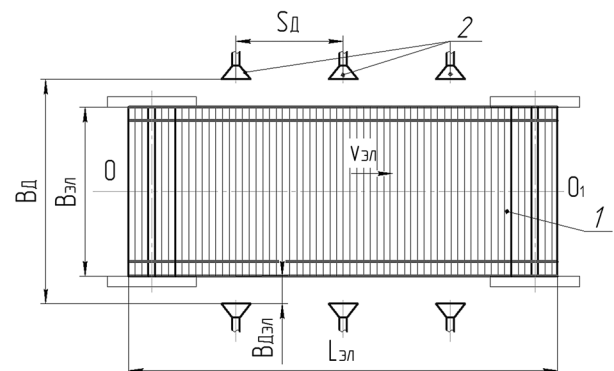


Рис. 1. Расчетная схема к обоснованию конструктивных и технологических параметров сепарирующей системы пруткового элеватора с энергией отработавших газов: 1 – прутковый элеватор; 2 – дефлектор отработавших газов

Fig. 1. Analytical model to justify the design and technological parameters of the separating system of a bar elevator using the exhaust gas energy: 1 – bar elevator; 2 – exhaust gas deflector

Межсоевое расстояние S_d между дефлекторами определяется необходимостью обеспечения равномерного обдува сепарирующей поверхности с постоянным температурным полем $T = \text{const}$ пруткового полотна, то есть необходимо выполнение условия перекрытия тепловых потоков по всей длине $L_{эл}$ сепарирующей поверхности. Для этого необходимо рассмотреть конструкцию дефлектора отработавших газов силовой установки (рис. 2).

При центральном вводе (рис. 2а) (по оси аппарата) выхлопного газа за счет кинетической энергии входящей

¹ СТО АИСТ 8.7-2013. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для уборки овощных и багчевых культур. Методы оценки функциональных показателей. 20 ноября 2013.

струи газ движется преимущественно в центральной части аппарата, лишь постепенно заполняя все сечение. При боковом вводе (рис. 2б) входящая газовая струя движется к противоположной стенке и, ударяясь о нее, поворачивает затем вверх.

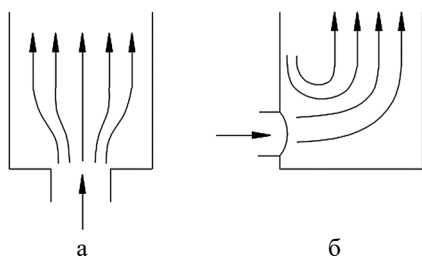


Рис. 2. Распределение газовой струи:

а – при центральном вводе газа; б – при боковом вводе газа

Fig. 2 Distribution of a gas flow:

a – for a central gas inlet; b – for a side gas inlet

В настоящее время имеются различные типы насадок: дефлектор с диффузором; цилиндрический «грибок» Волпера; Н-образный коллектор из труб; колпак-флюгер; турбодефлектор. Рассмотрим дефлектор с диффузором (рис. 3), выбор которого обусловлен увеличением площади распределения тепловых потоков в сравнении с другими видами насадок. Для воздействия тепловых потоков отработавших газов на сепарируемый материал и рабочую поверхность элеватора необходимо обеспечить выполнение условия:

$$S_D \leq B_{об}, \tag{1}$$

где $B_{об}$ – ширина обдува дефлектором рабочей поверхности пруткового элеватора, м.

Приставка диффузора к соплу влечет за собой снижение давления в узком месте насадка, а следовательно, увеличение скорости и расхода отработавших газов через него. В свою очередь, $B_{об}$ зависит от конструктивных параметров дефлектора, и прежде всего – от диаметра выходного участка B_d , так как данный параметр влияет на расход выхлопного газа из насадка согласно уравнению Бернулли:

$$Q_G = \mu S_B \sqrt{2gH_d}, \tag{2}$$

где μ – коэффициент расхода; S_B – площадь отверстия, m^2 ; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; H_d – напор выхлопного газа насадка, м.

Площадь отверстия S_B :

$$S_B = \pi B_d^2, \tag{3}$$

где B_d – диаметр насадка, м.

$$\mu = \varepsilon \varphi, \tag{4}$$

где ε – коэффициент сжатия; φ – коэффициент скорости.

$$\varepsilon = \frac{S_B}{2H_d}. \tag{5}$$

Ввиду того, что длина сопла и диффузора невелика, а скорость течения среды в них достаточно высока, теплообмен между стенками канала и средой при малом времени их контакта настолько незначителен, что в большинстве случаев им можно пренебречь и считать процесс истечения адиабатным.

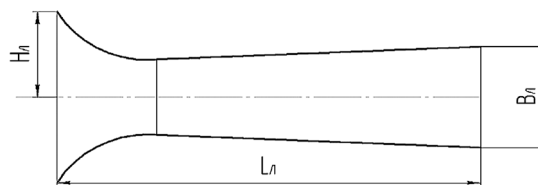


Рис. 3. Конструктивная схема дефлектора

Fig. 3. Structural design of the deflector

Результаты и обсуждение. Массовый расход выхлопного газа M_G через сопло (кг/с) определяется из соотношения:

$$M_G = \frac{m_r \cdot S_B \cdot c_{2r}}{V_2}, \tag{6}$$

где m_r – массовый расход воздуха, кг; c_{2r} – скорость выхлопного газа на выходе, м/с; V_2 – объем выхлопного газа на выходе, m^3 .

Таким образом, согласно рисунку 3

$$S_D = \left(\frac{L_{эл}}{B_d} \right) + \frac{B_d}{2}. \tag{7}$$

Междефлекторное расстояние B_d сепарирующей системы с тепловой системой очистки определяется исходя их максимально возможной скорости c_{2max} движения теплового потока отработавших газов при падении напора H_d выхлопного газа через сопло на осевой линии пруткового элеватора OO_1 , то есть должно соблюдаться условие:

$$H_d \geq B_{эл}. \tag{8}$$

Распределение температур в пределах каждого почвенного слоя на поверхности пруткового элеватора является линейным, но в различных слоях крутизна температурной зависимости отличается. Поскольку плотность ρ_r теплового потока Q_r , проходящего через все слои, в стационарном режиме одинакова, а коэффициент теплопроводности слоев различен, следовательно, более резко температура меняется в слоях с меньшей теплопроводностью. Ввиду того, что почвенный слой движется по поверхности пруткового элеватора со скоростью $v_{эл}$, а дефлекторы расположены по длине пруткового элеватора с расстоянием S_d при перекрытии тепловых потоков Q_r по длине полотна элеватора $L_{эл}$, температурное поле T изменяется только по ширине элеватора $B_{эл}$, а по длине $L_{эл}$ и по его периметру остается неизменным. В данном случае $grad\ t = dt/dt$, следовательно, получаем:

$$q_r = -\lambda \left(\frac{dt}{dB_{эл}} \right), \tag{9}$$

где q_r – градиент температуры; λ – коэффициент теплопроводности почвенного слоя, Вт/м · К.

$$Q_r = S_{эл} q_r = B_{эл} L_{эл} \lambda \left(\frac{dt}{dB_{эл}} \right). \tag{10}$$

Следовательно, для обеспечения подачи теплового потока отработавших газов с постоянным температурным полем $T = const$ необходимо и достаточно выполнение соотношения междефлекторного расстояния B_d сепарирующей системы:

$$B_d = \frac{Q_r}{L_{эл} \lambda \left(\frac{dt}{dB_{эл}} \right)}. \tag{11}$$

Межтранспортное расстояние $V_{дэл}$ расположения дефлекторов сепарирующей системы с тепловой энергией очистки согласно рисунку 1 определяется по выражению:

$$V_{дэл} = V_{д} - V_{эл}. \quad (12)$$

Количество $n_{д}$ расположения дефлекторов по длине $L_{эл}$ пруткового элеватора определяется исходя из равномерного распределения потока отработавших газов по рабочей поверхности элеватора, величина которого определяется шириной $\dot{A}_{л}$ выходного канала дефлектора, то есть

$$n_{д} = \left(\frac{L_{эл}}{B_{л}} \right) + \left(\frac{S_{эл}}{S_{в}} \right). \quad (13)$$

Работа выполнена при государственной поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (Конкурс СП-1004.2021.1).

Библиографический список

1. Аксенов А.Г., Сибирёв А.В. Обеспеченность техникой для овощеводства // Сельский механизатор. 2016. № 8. С. 6-8.
2. Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan. Development of potato harvesting model. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2017; 4(10): 1567-1570.
3. Farhadi R., Dehkordi N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader (part I). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2012; 18(2): 304-314.
4. Haverkort A.J., Struik P.C. Potato in progress: science meets practice. Wageningen Academic Publishers, Netherlands, 2005. 366 pp.
5. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. *Research in Agricultural Engineering*, 2008; 54(1): 22-31. <https://doi.org/10.17221/708-RAE>
6. Natenadze N. The design and theoretical justification of a vibratory digger shovel. *Mechanization in agriculture*, 2016; 62(1): 9-11.
7. Asghar M., Ghafoor Dr.A., Munir A., Iqbal M., Choudhary M. Design modification and field testing of groundnut digger. *Asian Journal of Science and Technology*, 2014; 5(7): 389-394.
8. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Dorokhov A.S. Results of laboratory investigations of soil screening ability of a chain digger with asymmetric vibrator arrangement. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2019; 57(1): 9-18. https://doi.org/10.35633/inmateh_57_01
9. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2019; 58(2): 63-74. <https://doi.org/10.35633/inmateh-58-07>

Критерии авторства

Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А., Сазонов Н.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А., Сазонов Н.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 24.06.2021

Одобрена после рецензирования 16.02.2022

Принята к публикации 17.02.2022

Выводы

1. Одновременное выполнение операций подкапывания, сепарации от почвенных и растительных примесей с обдуванием сепарирующей поверхности горячими выхлопными газами силовой установки уборочной машины позволит повысить энергетическую эффективность уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы.

2. Выполненное обоснование режимов работы и технологических параметров сепарирующей системы с тепловой энергией очистки отработавших газов и представленная схема распределения тепловых потоков отработавших газов на сепарирующей поверхности машин для уборки корнеплодов и картофеля позволят в дальнейшем провести экспериментальные исследования по совершенствованию отдельных элементов машин для уборки корнеклубнеплодов.

The research was carried out with the state support of the scholarship of the President of the Russian Federation for young scientists and graduate students (Contest SP-1004.2021.1).

References

1. Aksenov A.G., Sibiryov A.V. Obespechennost' tekhnikoy dlya ovoshchevodstva [Available range of machinery for vegetable production]. *Sel'skiy mekhanizator*, 2016; 8: 6-8. (In Rus.)
2. Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan. Development of potato harvesting model. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2017; 4(10): 1567-1570.
3. Farhadi R., Dehkordi N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader (part I). *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2012; 18(2): 304-314.
4. Haverkort A.J., Struik P.C. Potato in progress: science meets practice. Wageningen Academic Publishers, Netherlands, 2005. 366 p.
5. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. *Research in Agricultural Engineering*, 2008; 54(1): 22-31. <https://doi.org/10.17221/708-RAE>
6. Natenadze N. The design and theoretical justification of a vibratory digger shovel. *Mechanization in agriculture*, 2016; 62(1): 9-11.
7. Asghar M., Ghafoor Dr.A., Munir A., Iqbal M., Choudhary M. Design modification and field testing of groundnut digger. *Asian Journal of Science and Technology*, 2014; 5(7): 389-394.
8. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Dorokhov A.S. Results of laboratory investigations of soil screening ability of a chain digger with asymmetric vibrator arrangement. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2019; 57(1): 9-18. https://doi.org/10.35633/inmateh_57_01
9. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2019; 58(2): 63-74. <https://doi.org/10.35633/inmateh-58-07>

Contribution

A.S. Dorokhov, A.V. Sibiryov, A.G. Aksenov, M.A. Mosyakov, N.V. Sazonov performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. A.S. Dorokhov, A.V. Sibiryov, A.G. Aksenov, M.A. Mosyakov, N.V. Sazonov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 24.06.2021

Approved after reviewing 16.02.2022

Accepted for publication 17.02.2022