

Оценка эффективности технологического процесса машинно-тракторного агрегата для уборки овощных культур и картофеля

Алексей Семенович Дорохов, Александр Геннадьевич Аксенов, Алексей Викторович Сибирёв, Максим Александрович Мосяков, Николай Викторович Сазонов, Мария Михайловна Годяева
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия
e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены укрупненные показатели с количественным ранжированием значений по основным критериям технологического процесса уборки. Предложена методика определения этих критериев. Применён главный принцип комплексной оценки эффективности использования машин для уборки корнеплодов, который основан на получении значений совокупности частных показателей. Установлены факторы, влияющие на качество выполнения технологического процесса уборки. Проведено математическое моделирование расчета обобщенного коэффициента эффективности выполнения уборки овощных культур и определены его численные значения.

Ключевые слова: механизация уборки корнеплодов; комплексы машин; эффективность выполнения технологических процессов; конструкция рабочих органов уборочных машин; овощеводство.

Для цитирования: Дорохов А. С., Аксенов А. Г., Сибирёв А. В., Мосяков М. А., Сазонов Н. В., Годяева М. М. Оценка эффективности технологического процесса машинно-тракторного агрегата для уборки овощных культур и картофеля // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 112–116. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp112-116>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Efficiency of the technological process of the machine-tractor unit for harvesting vegetables and potatoes

Aleksey S. Dorokhov, Alexander G. Aksenov, Aleksey V. Sibirev, Maxim A. Mosyakov, Nikolai V. Sazonov, Maria M. Godyaeva
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Abstract. The article presents aggregated indicators with a quantitative ranking of values according to the main criteria of the technological process of harvesting. A method for determining these criteria is proposed. The main principle of a comprehensive assessment of the effectiveness of the use of machines for harvesting root crops is applied, which is based on obtaining the values of a set of private indicators. The factors influencing the quality of the technological process of harvesting have been established. Mathematical modeling of the calculation of the generalized coefficient of efficiency of harvesting vegetable crops was carried out and its numerical values were determined.

Keywords: mechanization of harvesting root crops; machine complexes; efficiency of technological processes; design of working bodies of harvesters; vegetable growing.

For citation: Dorokhov A. S., Aksenov A. G., Sibirev A. V., Mosyakov M. A., Sazonov N. V., Godyaeva M. M. Efficiency of the technological process of the machine-tractor unit for harvesting vegetables and potatoes. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(2):112–116. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp112-116>.

Введение. Внедрение современных технологий в производство сельскохозяйственной продукции напрямую связано с развитием аграрного машиностроения. Среди перспективных направлений технологического развития следует отметить конструктивное исполнение ряда сельхозмашин, направленное на совмещение технологических операций с максимально возможным использованием полезной мощности энергетических средств [1–3]. Результаты известных научных исследований свидетельствуют о повышении качества выполнения производственных операций при оптимальных затратах энергии и ресурсов [2–6]. Однако они не в полной мере отражают конструктивное решение интенсификации уборки корнеплодов овощных культур и картофеля. Это связано с тем, что разнообразие видового состава овощных культур накладывает определенные ограничения на извлечение корнеплодов из почвы и их очистку от механических примесей [7–9].



Цель исследования – определение эффективности выполнения технологических комплексов машин при уборке овощных культур и картофеля разработкой и обоснованием коэффициента, позволяющего создавать технику для уборки овощных культур с учетом качества работы функционирующих элементов для последующего использования в системе математического моделирования.

Методика исследований. Известны основные частные показатели технологического процесса работы комплекса машин для уборки овощных культур [10–12]: производительность технологического комплекса машин за 1 ч основного времени W_o , га/ч; удельные затраты труда Z_T , чел.·ч/га; эксплуатационный расход топлива Q_{GA} , кг/га; повреждение корнеплодов РК, %; полнота сепарации вороха овощных культур и картофеля v , %; потери овощных культур и картофеля L_k , %.

Производительность технологического комплекса машин за 1 ч основного времени W_o определяется по формуле

$$W_o = 0,36B_p V_p \tau, \quad (1)$$

где B_p – рабочая ширина захвата технологического комплекса машин для уборки овощных культур и картофеля, м; V_p – рабочая скорость технологического комплекса машин для уборки овощных культур и картофеля, м/с; τ – коэффициент использования времени смены.

Удельные затраты труда равны

$$Z_T = Z_{TCC} / W_{CM}, \quad (2)$$

где Z_{TCC} – затраты труда при уборке овощных культур и картофеля, чел.·ч/га; W_{CM} – сменная производительность технологического комплекса машин для уборки овощных культур и картофеля, ч/га.

Эксплуатационный расход топлива находим из выражения:

$$Q_{GA} = 0,7R \cdot N, \quad (3)$$

где R – удельный расход топлива, кг/га; N – мощность двигателя, л.с.

Повреждение овощных культур на функционирующем элементе технологического комплекса машин на уборке овощных культур и картофеля определяли по формуле

$$P_{л} = \frac{G_{ПОВ}}{G_{СТ} - G_{ПОВ}} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где $G_{ПОВ}$ – масса поврежденных овощных культур и картофеля в ворохе, кг; $G_{СТ}$ – масса всего количества овощных культур и картофеля в ворохе, кг.

Полнота сепарации вороха корнеплодов и лука равна [2]:

$$v = \frac{v_{КП} - v_{ИП}}{v_{КП}} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где $v_{КП}$ – масса почвенных примесей в исходном ворохе, кг; $v_{ИП}$ – масса почвенных примесей (невыделенные примеси), кг.

Потери за функционирующим элементом технологического комплекса машин на уборке овощных культур и картофеля составляют [2]:

$$L_k = 100 \left(\frac{G_{Л1}}{G_{Л1} - G_{Л2}} \right) \cdot 100 \%, \quad (6)$$

где $G_{Л2}$ – масса овощных культур перед взаимодействием с рабочим органом, кг; $G_{Л1}$ – масса овощных культур после взаимодействия с рабочим органом, кг.

Учитывая выбранные показатели эффективности использования технологического комплекса машин, получим математическое выражение для расчета коэффициента эффективности выполнения технологических процессов машин для уборки овощных культур и картофеля:

$$K_T = \frac{K_{W_o} + K_V}{K_{Q_A} + K_p + K_{P_L}}, \quad (7)$$

где K_{W_o} – коэффициент, учитывающий степень фактической производительности по отношению к расчетной; K_V – коэффициент, учитывающий степень фактической полноты сепарации вороха овощных культур по отношению к расчетной; K_{Q_A} – коэффициент, учитывающий степень фактического эксплуатационного расхода топлива по отношению к требуемому; K_p – коэффициент, учитывающий степень



фактических повреждений корнеплодов на функционирующем элементе технологического комплекса машин L_k по отношению к допустимым; $K_{рл}$ – коэффициент, учитывающий степень фактических потерь за функционирующим элементом технологического комплекса машин РК по отношению к допустимым.

При определении выше представленного коэффициента первоначально необходимо определить расчетные значения частных показателей технологического процесса работы комплекса машин для уборки овощных культур и картофеля согласно зависимостям 1–6 и далее выполняется сравнение с требуемыми и допустимыми значениями согласно агротехническим требованиям на уборку. Отсутствие коэффициента, который учитывает удельные затраты труда при уборке овощных культур ZT и является одним из частных показателей технологического процесса работы машин для уборки овощных культур, однако данный параметр не определяет выполнение показателей качества работы уборочной машины в соответствии с агротехническими требованиями уборки.

Расчетные значения показателей качества уборки (повреждение, полнота сепарации и потери овощных культур и картофеля) позволяют определить прогнозируемые выходные параметры функционирующих элементов машины для уборки овощных культур и картофеля (см. рисунок).

Результаты исследований. Для определения коэффициента эффективности выполнения технологических процессов машинами для уборки овощных культур рассмотрим вариант уборки овощных культур и картофеля самоходным комбайном, имеющим силовую установку MAN D 2876 LE 123.

Экспериментальные исследования проводили на выщелоченном черноземе в условиях ООО «Красная Горка» Пензенской области в 2021 г. на уборке столовой свеклы сорта Красный шар.

Коэффициент, учитывающий степень фактической производительности по отношению к расчетной: $K_{w_0} = 0,6/0,8 = 0,75$.

Его значение менее единицы, что свидетельствует о снижении рабочего времени смены в виду повышения производительности при условии безотказного выполнения технологического процесса уборки в вариантах:

ухудшения почвенных условий (повышение твердости почвы, влажности, засорение камнями и т.д.); предельного износа функционирующих элементов уборочной машины.

Варьирование от минимального 0,1 до максимального 2,0 значений данного коэффициента свидетельствует о целесообразности выполнения технологического процесса уборки в виду предельно малого порогового значения фактической производительности или же наоборот, высокой эффективности исследуемого процесса.

Отношение фактической полноты сепарации почвы через щелевые отверстия сепаратора к расчетной равно: $K_v = 82,6/81,4 = 1,01$.

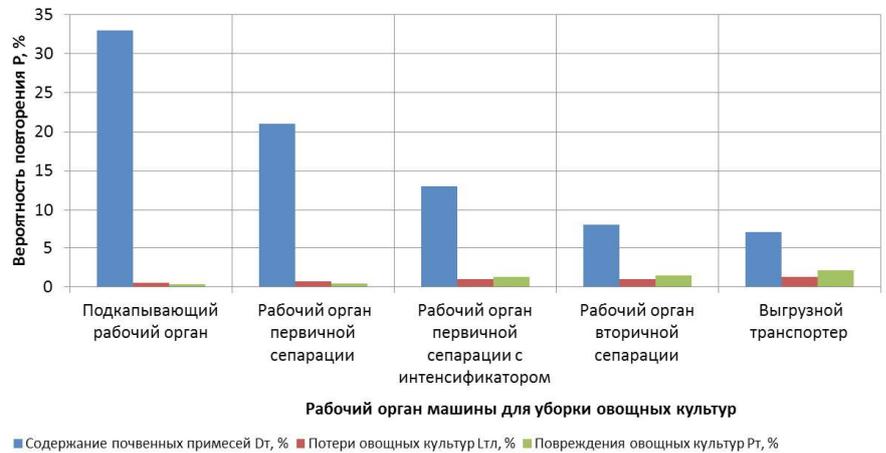
Значение $K_v > 1$ отражает высокое качество выполнения технологического процесса уборки, максимальное значение которого соответствует значению 2,0 единиц, свидетельствующее о оптимальном сочетании физико-механических свойствах агрофона для уборки с режимными и технологическими параметрами уборочной машины в отличии от минимального его значения, соответствующее значению 0,1.

Коэффициент, учитывающий степень достижения фактического значения эксплуатационного расхода топлива силовой установкой, составляет: $K_{QA} = 35,3/30,4 = 1,16$.

Увеличение данного параметра – причина повышенного выброса отработавших газов в атмосферу. Это может быть следствием ухудшения почвенных условий, повышенного износа цилиндрико-поршневой группы, а также топливной аппаратуры силовой установки, следовательно, варьирование данного коэффициента в интервале значений от 0,1 до 2,0 ед. определяет состояние силовой установки машинно-тракторного агрегата для уборки.

Коэффициент, учитывающий повреждения корнеплодов на функционирующем элементе технологического комплекса машин, равен: $K_p = 1,4/1,02 = 1,37$.

Изменение данного критерия в интервале значений от



Показатели качества технологического процесса работы функционирующих элементов машины для уборки овощных культур и картофеля





0,1 до 2,0 ед. обуславливает сохранение и исключение заражений (ввиду отсутствия развития патогенной микрофлоры через микротрещины корнеплодов) товарной продукции овощных культур в период хранения или невозможности хранения соответственно. Данная величина вносит значительный вес в сумму значений разработанного коэффициента эффективности выполнения технологических процессов, так в виду оптимальных значений режимных и технологических параметров уборочной машины, значения которых определяется оператором комбайна. Величина потерь за функционирующими элементами уборочной машины составила 2,01 % при допустимой 2,14 %. Тогда: $K_{рл} = 2,01/2,14 = 0,93$.

Варьирование данного критерия отражает изменение состояния машинно-технологического комплекса для уборки овощных культур и картофеля при выполнении оператором регулировок подкапывающих и сепарирующих устройств, от которых зависят потери товарной продукции.

Варьирование выше представленных коэффициентов, определяющих эффективность выполнения технологического процесса работы машин для уборки овощных культур и картофеля в интервале значений от 0,1 до 2,0 ед. свидетельствует о минимально предельном значении расчетного значения эксплуатационного показателя или его максимальном значении в виду оптимального сочетания почвенных условий, режимных и технологических параметров машины, ее функционального состояния, а также показателей качества ее работы.

На основании проведенных теоретических расчетов имеем следующее.

$$K_T = \frac{K_{W_0} + K_V}{K_{QA} + K_p + K_{рл}} = \frac{0,75 + 1,01}{1,16 + 1,37 + 0,93} = 0,51.$$

Результаты полученных исследований по определению коэффициента эффективности выполнения технологического процесса работы машин для уборки овощных культур и картофеля позволяют заключить, что изменение данного коэффициента при значении более 0,5 свидетельствует о недостаточной эффективности процесса уборки в виду минимальных значений эксплуатационных показателей уборочной машины и соответственно показателей качества ее работы, что свидетельствует о недопустимости выполнения комплекса уборочных работ в текущих почвенных условиях, а также отсутствия оптимальных параметров уборочной машины или же невозможности их обеспечения по причине износа функционирующих элементов при взаимодействии с абразивными элементами в почвенном слое в процессе выполнения технологического процесса уборки.

Заключение. Численные значения слагаемых (коэффициент, учитывающий производительность, равный 0,75, коэффициент, учитывающий полноту сепарации вороха овощных культур, равный 82,6, коэффициент, учитывающий эксплуатационный расход топлива 0,93, коэффициент, учитывающий повреждения корнеплодов на функционирующем элементе уборочной машины 1,37, коэффициент, учитывающий потери товарной продукции 1,16) коэффициента эффективности выполнения технологического процесса уборки овощных культур свидетельствуют о величине изменения исследуемой величины комплекса машин в следующем интервале значений:

больше или равного единицы, что обусловлено снижением полноты сепарации товарной продукции, повышении ее повреждений и потерь, в результате критического износа функционирующих элементов уборочной машины, невозможности обеспечения оптимальных режимных и технологических параметров их работы, а следовательно-снижением производительности процесса уборки, т.е. комплекс машин не обеспечивает достижение требуемого уровня качества уборки и необходимо принятие мер по устранению несоответствия;

меньше единицы, определяет величину эффективности выполнения технологического процесса уборки овощных культур и картофеля в её пороговых минимальных значениях, обусловленное высокими показателями качества уборки (полнота сепарации более 85 %, повреждения не более 1 % и потери товарной продукции до 2 %), что достигается оптимальным сочетанием технологических параметров уборочной машины с почвенными условиями возделывания овощных культур.

Исследование, разработка и совершенствование технологического процесса машин для уборки овощных культур, а также их функционирующих элементов использованием разработанного коэффициента позволит выявить влияние частных показателей (производительность технологического комплекса машин за 1 ч основного времени, удельные затраты труда, эксплуатационный расход топлива, повреждения корнеплодов, полнота сепарации вороха корнеплодов, потери корнеплодов) на процесс уборки и определить направления их совершенствование при условии оптимизации затрат производства на качество продукции.

Работа выполнена при государственной поддержке РФФ конкурса 2022 года «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными № 22-76-10002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машинная технология производства лука / Я.П. Лобачевский [и др.]. М., 2016. 168 с.
2. Хвостов В.А., Рейнгагт Э.С. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет). М., 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. Devsh K., Ashok T. Performance evaluation of tractor drawn potato digger cum-elevator // Journal of Agricultural Science. 2017. 7. 433-448.
5. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading // Research in Agricultural Engineering. 2017. Vol. 1. 22–31.
6. Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Patil Vipul R., Deepak Chavan. Development of Potato Harvesting Model // International Research Journal of Engineering and Technology. 2017. Vol. 4. 1567–1570.
7. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2012. Vol. 2. 304–314.
8. Lü J.Q., Sun H., Dui H., Peng M.M., Yu J.Y. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition // Transactions of the CSAM. 2017. № 48(11). 146–155.
9. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y., Li Z.H., Li J.C., Liu Z.Y. Design optimization and experiment on potato haulm cutter // Transactions of the CSAM. 2016. № 47(5). Vol. 106–114.
10. Bao G., Wang G., Wang B., Hu L., Xu X., Shen H., Ji L. Study on the drop impact characteristics and impact damage mechanism of sweet potato tubers during harvest // PLoS ONE. 2021. № 16. 0255856.
11. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous development of low cost harvesting machine // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. № 12 (5). 4489–4490.
12. Калинин А.Б., Смелик В.А., Теплинский И.З., Первухина О.Н. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 39. С. 315–319.
13. Ларюшин А.М. Качественные показатели выкапывающего устройства лукоборочной машины // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 3. С. 46–47.
14. Indraja D. A., J Ajkhilesh., Vishal P., Amarsingh P., Ashutosh D. Review paper based on Design and Development of An Onion Harvesting Machine // Journal of Information and Computational Science. 2019. № 9(12). 333–337.
15. Shanmugam C.J., Senthilkumar G. Indigenous development of low cost harvesting machine // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. № 12. 4489–4490.

REFERENCES

1. Machine technology for onion production / Ya.P. Lobachevsky et al. Moscow, 2016. 168 p.
2. Khvostov V.A., Reingart E.S. Machines for harvesting root crops and onions (theory, design, calculation). Moscow, 1995. 391 p.
3. Kalinin A.B., Teplinskiy I.Z., Kudryavtsev P.P. Soil state in intensive technology. Potatoes and vegetables. 2016; 2: 35–36.
4. Devsh K., Ashok T. Performance evaluation of tractor drawn potato digger cum-elevator. Journal of Agricultural Science. 2017; 7: 433–448.
5. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. Research in Agricultural Engineering. 2017; 1: 2–31.
6. Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Patil Vipul R., Deepak Chavan. Development of Potato Harvesting Model. International Research Journal of Engineering and Technology. 2017; 4: 1567–1570.
7. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2012; 2: 304–314.
8. Lü J.Q., Sun H., Dui H., Peng M.M., Yu J.Y. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition. Transactions of the CSAM. 2017; 48(11): 146–155.
9. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y., Li Z.H., Li J.C., Liu Z.Y. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. Transactions of the CSAM. 2016; 47(5); 106–114.
10. Bao G., Wang G., Wang B., Hu L., Xu X., Shen H., Ji L. Study on the drop impact characteristics and impact damage mechanism of sweet potato tubers during harvest. PLoS ONE. 2021; 16: 0255856.
11. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous development of low cost harvesting machine. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017; 12 (5): 4489–4490.
12. Kalinin A.B., Smelik V.A., Teplinskiy I.Z., Pervukhina O.N. Choice and substantiation of the parameters of the ecological state of the agroecosystem for monitoring the technological processes of cultivation of agricultural crops. Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University. 2015; 39: 315–319.
13. Laryushin A.M. Qualitative indicators of the digging device of the onion harvester. Tractors and agricultural machines. 2008; 3: 46–47.
14. Indraja D. A., J Ajkhilesh., Vishal P., Amarsingh P., Ashutosh D. Review paper based on Design and Development of An Onion Harvesting Machine. Journal of Information and Computational Science. 2019; 9(12): 333–337.
15. Shanmugam C.J., Senthilkumar G. Indigenous development of low cost harvesting machine. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017; 12: 4489–4490.

Статья поступила в редакцию 11.08.2022; одобрена после рецензирования 5.09.2022; принята к публикации 25.09.2022. The article was submitted 11.08.2022; approved after reviewing 5.09.2022; accepted for publication 25.09.2022.

