

Научная статья  
УДК 519.248 : 631.356.46  
http: 10.28983/asj.y2023i9pp134-138

**Статистическая оценка показателей надежности картофелеуборочного процесса**

**Наталья Ивановна Овчинникова<sup>1</sup>, Вячеслав Владимирович Боннет<sup>1</sup>, Анна Викторовна Косарева<sup>1</sup>, Мария Александровна Быкова<sup>1</sup>, Яков Вячеславович Боннет<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ им А.А. Ежевского, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

e-mail: bonnet74@mail.ru

**Аннотация.** В соответствии с агротехническими требованиями технологический процесс уборки картофеля должен осуществляться в сжатые сроки, с минимальными потерями выращенного урожая и сохранением его качества. Выполнение этих требований зависит от организации уборочных работ, квалификации работников, применяемых технологий, используемых технических средств, а также природно-климатических условий. На основании этого авторы предлагают рассматривать картофелеуборочный процесс как функционирование системы «человек–машина–среда–транспорт», основным оценочным показателем которой принята ее надежность, определяемая вероятностью безотказной работы системы. На основе метода хронометражных наблюдений проведен анализ временных характеристик работоспособного и неработоспособного состояний системы, возникающих по причинам «отказа» входящих в нее элементов. Экспериментальные исследования выполнялись на протяжении трех уборочных сезонов в учебно-опытном хозяйстве Иркутского аграрного университета с применением картофелеуборочного агрегата КПК-2-01+МТЗ-80 на прямом комбайнировании. Статистическая обработка полученных эмпирических данных позволила выявить ряд закономерностей показателей надежности картофелеуборочного процесса и количественно определить непроизводительные затраты времени рабочего дня при выполнении управленческих, технических и технологических функций.

**Ключевые слова:** надежность; картофелеуборочный процесс; хронометражные наблюдения; человеко-машинная система; статистическая оценка.

**Для цитирования:** Овчинникова Н. И., Боннет В. В., Косарева А. В., Быкова М. А., Боннет Я. В. Статистическая оценка показателей надежности картофелеуборочного процесса // Аграрный научный журнал. 2023. № 9. С. 134–138. http: 10.28983/asj.y2023i9pp134-138.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Statistical evaluation of reliability indicators of potato harvesting process**

**Natalia I. Ovchinnikova<sup>1</sup>, Vyacheslav V. Bonnet<sup>1</sup>, Anna V. Kosareva<sup>1</sup>, Marija A. Bykova<sup>1</sup>, Yakov V. Bonnet<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup>Moscow State Technical University named N.E. Bauman, Moscow, Russia

e-mail: bonnet74@mail.ru

**Abstract.** According to agrotechnical requirements, the technological process of potato harvesting should be carried out in a short period, with minimal losses of the grown yield and preservation of its quality. The fulfillment of these requirements depends on the organization of harvesting operations, the qualifications of employees, the technologies involved, the technical aids used, as well as natural and climatic conditions. Based on this, the authors propose to consider the potato harvesting process as the functioning system “man-machine-environment-transport”, the main evaluation indicator of which is its reliability, determined by the probability of reliable operation of the system. Basing on the method of time-lapse observations, the analysis of the time characteristics of the operational and inoperable states of the system arising from the reasons of the “failure” elements included to it is carried out. Experimental studies were conducted during three harvesting seasons in the training farm of the Irkutsk State Agrarian University using a potato harvesting unit PPC-2-01+MTZ-80 by direct combining. Statistical processing of the empirical data obtained enabled to reveal a number of regularities in the reliability indicators of the potato harvesting process and quantify the unproductive time waste during the working day when performing managerial, technical and technological functions.

**Keywords:** reliability, potato harvesting process, time-lapse observations, human-machine system, statistical evaluation.

**For citation:** Ovchinnikova N. I., Bonnet V. V., Kosareva A. V., Bykova M. A., Bonnet Ya. V. Statistical evaluation of reliability indicators of potato harvesting process // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(9): 134–138. (In Russ.). http: 10.28983/asj.y2023i9pp134-138.

© Овчинникова Н. И., Боннет В. В., Косарева А. В., Быкова М. А., Боннет Я. В., 2023





**Введение.** Для реализации технологического процесса уборки картофеля механизированным способом необходимо выполнить обязательные действия: определить сроки и составить график уборки, подготовить поле и технические средства, произвести вскопку клубней и осуществить их перебор, погрузить урожай в транспортное средство, выполнить его транспортировку с поля и загрузить в хранилище [1]. Качественное выполнение всех указанных операций может быть обеспечено в случае хороших погодных условий, удовлетворительного технического состояния задействованной уборочной техники, согласованных действий со стороны оператора, водителей и других человеческих ресурсов. Учитывая факторы, оказывающие решающее значение на сбор урожая картофеля, уборочно-транспортный процесс прямым комбайнированием можно рассматривать как работу технологической системы «человек–машина–среда–транспорт» («Ч–М–С–Т»), компонентами (элементами, подсистемами) которой являются: «человек» – оператор – комбайнер, тракторист, работники - переборщики; «машина» – картофелеуборочный комбайн, трактор; «среда» – почвенно-климатические условия, количество урожая; «транспорт» - грузовые автомобили, самосвальные прицепы [10]. Последний элемент выделен в отдельную самостоятельную подсистему для возможности оценивания работоспособного и неработоспособного состояний технологической системы «Ч–М–С–Т» в случае отсутствия или поломки транспортных средств, необходимых для разгрузки комбайна и отвозки картофелеклубней. Жизненный цикл рассматриваемой картофелеуборочной системы в полной мере зависит от бесперебойной работы ее элементов. В случае «отказа» хотя бы одного из них человеко-машинная система приходит в неработоспособное состояние, что отрицательно сказывается на ее результативности. Приняв допущение о независимости возникновения «отказов» компонент системы и, условно сгруппировав временные отрезки «простоя» всей системы согласно причинам их возникновения, стало приемлемым формализованное описание функционирования системы «Ч–М–С–Т» с помощью теории случайных марковских процессов [6]. Основные оценочные показатели надежности картофелеуборочного процесса такие, как вероятности безотказной работы системы и ее компонент, интенсивности отказов и восстановлений работоспособных состояний, а также фактическая производительность комбайна количественно подсчитывались с учетом основного чисто рабочего времени  $t_p$  [4].

Цель исследования – вероятностно-статистическая оценка показателей надежности картофелеуборочного процесса системным методом.

**Методика исследований.** Сбор статистических данных осуществлялся по методу хронометражных наблюдений за работой картофелеуборочного агрегата КПК-2-01+МТЗ-80 способом прямого комбайнирования на протяжении последних 3 уборочных сезонов в учебно-опытном хозяйстве Иркутского аграрного университета им А.А. Ежевского. Достоверность их значений обусловлена точностью применяемых инструментов, квалификацией исследователей и многократностью эксперимента. В специально разработанный наблюдательный лист (хронокарта) фиксировались интервалы времени рабочей смены, затрачиваемые на выполнение необходимых операций и функций. Время начала рабочего дня принято с момента выхода механизатора на работу (из дома или места отдыха) и время окончания – постановка агрегата на хранение между рабочими сменами. Согласно модели функционирования картофелеуборочной системы «Ч–М–С–Т» [10] затраты времени были отнесены к соответствующим ее компонентам. По авторской компьютерной программе, удовлетворяющей задачам экспериментального исследования, выполнялся ввод и обработка временных показателей рассматриваемого процесса уборки картофеля.

**Результаты исследований.** В результате статистической обработки и анализа временных данных выявлено, что неработоспособное состояние технологической картофелеуборочной системы «Ч–М–С–Т» за время рабочей смены вызвано: в большей степени неблагоприятными погодными условиями,  $t_{cp} = 1,7$  ч; ожиданием транспортных средств для вывоза картофеля,  $t_{tp} = 1,25$  ч; возникновением технических неисправностей картофелеуборочного комбайна и их устранением,  $t_m = 1,05$  ч; холостыми переездами от места стоянки агрегата до поля,  $t_q = 0,9$  ч и психофизиологическими особенностями человека,  $t_q = 0,75$  ч. Что касается суммарного времени простоев за уборочный период, то картина немного иная. На рис. 1 приведена диаграмма времени простоев картофелеуборочной системы «Ч–М–С–Т» за весь уборочный сезон по причинам неработоспособного состояния ее составляющих компонент.

По диаграмме видно, что наибольшие простои картофелеуборочной системы – 26 % от продолжительности уборочного периода, связаны с простоями компоненты «машина» ( $t_m = 42$  ч). В качестве основных причин «отказов» установлены технические неисправности и их устране-



ние в полевых условиях, а также техническое обслуживание. Среди причин поломок были обрывы транспортеров, сбег цепных передач и непредвиденные нарушения технологического процесса, что подтверждается и другими исследователями [2–8]; 23 % от продолжительности уборочного периода наблюдались простои системы по причине «человек» ( $t_c = 35$  ч), среди которых к непроизводительным относятся перемещение механизатора к месту стоянки агрегата, подготовка агрегата к работе, физиологические «потребности» и др. Влияние компонент «среды» ( $t_c = 25,6$  ч) и «транспорта» ( $t_{тр} = 17,6$  ч) на прерывание работ по уборке картофеля составили 16 и 11 % соответственно. Результаты в виде статистических показателей картофелеуборочного процесса приведены в (см. таблицу).

Согласно данным таблицы, средняя продолжительность рабочего дня  $T_{дн}$  составила 11,01 ч, причем чисто рабочее время  $t_p = 3,11$  ч. Средняя величина начала рабочего дня,  $T_{дн}^н$ , получилась равной 7,95 ч, а его окончания  $T_{дн}^к$  – 18,86 ч. Основными причинами, которые приводили к неработоспособному состоянию картофелеуборочную систему, были неблагоприятные погодные условия и возникновение технических неисправностей комбайна и транспортных средств, что значительно сокращало продолжительность рабочего дня. Так, средняя продолжительность производительного интервала времени дневной смены,  $T_p$ , составила всего 6,44 ч. Особую озабоченность исследователей вызывали длительные подготовительные периоды – продолжительность времени от начала рабочего дня до начала первого рабочего хода,  $t_{плг} = 3,27$  ч. Это объясняется тем, что в утренние

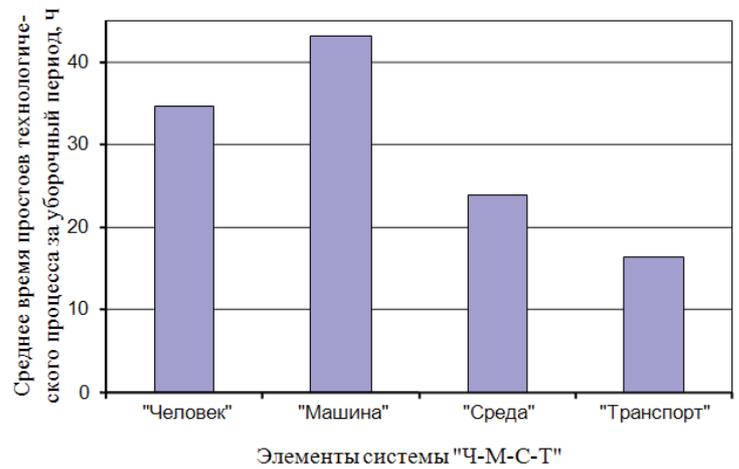


Рис. 1. Диаграмма времени простоев картофелеуборочной системы

#### Значения статистических показателей картофелеуборочного процесса

Временные характеристики, ч	Среднее значение	Медиана	Стандарт. отклонение	Стандарт. ошибка	Дисперсия
Длительность дневной смены	11,01	11,09	1,16	0,15	1,35
Время начала дневной смены	7,95	7,75	0,26	0,03	0,07
Время окончания дневной смены	18,86	19,19	1,23	0,16	1,52
Время начала первого рабочего хода	11,21	11,27	0,91	0,12	0,82
Время последнего рабочего хода	17,65	18,30	2,00	0,27	3,99
Производительное время смены	6,44	7,02	2,18	0,29	4,74
Чисто рабочее время в дневной смене	3,11	3,15	1,24	0,17	1,55
Время подготовительного периода	3,27	3,32	0,91	0,12	0,83
Время заключительного периода	1,31	0,82	1,30	0,18	1,69
Непроизводительное время смены	3,16	3,20	1,67	0,22	2,79
Длительность простоев по причине:					
«человек»	2,43	2,43	0,88	0,12	0,78
«машина»	3,03	2,60	1,82	0,24	3,32
«среда»	1,68	1,47	2,18	0,29	4,74
«транспорт»	1,19	0,84	1,08	0,15	1,17
Показатели надежности картофелеуборочной системы					
Дневная производительность, га	1,23	1,24	0,48	0,06	0,23
Вероятность отказов: «человек»	0,23	0,22	0,08	0,01	0,01
«машина»	0,26	0,24	0,15	0,02	0,02
«среда»	0,16	0,12	0,22	0,03	0,05
«транспорт»	0,11	0,08	0,10	0,01	0,01
Надужность системы «Ч-М-С-Т»	0,26	0,29	0,13	0,02	0,02

часы уборка картофеля была затруднена из-за выпадения росы или осадков, что служило причиной остановки картофелеуборочного агрегата на весь день и более. Также в подготовительный период рабочей смены возникала необходимость проведения мелкого ремонта при выявлении технических неисправностей комбайна, агрегатированного с трактором и другими транспортными средствами.

Вероятности возникновения отказов компонентов системы «Ч–М–С–Т» за сезон по убыванию их значимости соответственно составили: «машина»,  $q_m = 0,26$ ; «человек»,  $q_q = 0,23$ ; «среда»,  $q_c = 0,16$ ; «транспорт»,  $q_{тр} = 0,11$ . В целом, вероятность безотказной работы системы «Ч–М–С–Т»,  $P$ , характеризующая надежность функционирования картофелеуборочного процесса, в среднем получилась равной всего лишь 0,26. Одной из причин, оказывающей значительное влияние на формирование значения вероятности, являются простои системы из-за несогласованной работы транспортных средств, их неполная загрузка, а также отказы самих агрегатов.

Дневная фактическая производительность,  $W_{\phi}$ , комбайна – важный показатель работы рассматриваемой системы. С целью его оценки нами обработан интервальный статистический ряд из значений этого показателя на предмет проверки гипотезы о виде закона распределения  $W_{\phi}$ . Использовался критерий согласия Пирсона  $\chi^2$  при уровне значимости 0,05 [6]. На основании полученных результатов сделан вывод, что гипотеза о нормальном распределении генеральной совокупности дневной фактической производительности согласуется с эмпирическим распределением выборки объема  $n = 117$  с параметрами  $a = 1,23$  га (математическое ожидание  $W_{\phi}$ ) и  $\sigma^2 = 0,23$  (дисперсия  $W_{\phi}$ ). Гистограмма частот и кривая плотности распределения производительности картофелеуборочного комбайна показаны на рис. 2.

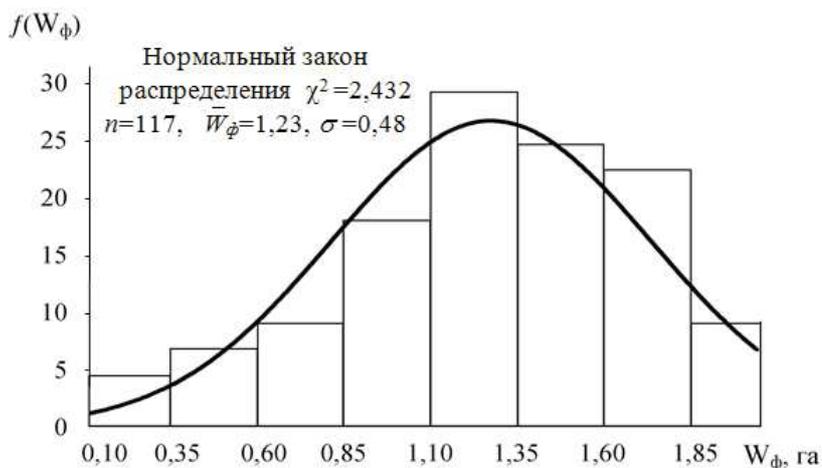


Рис. 2. Гистограмма частот и график плотности распределения дневной производительности картофелеуборочного агрегата  $W_{\phi}$

Подтверждена линейная тенденция нарастания значений дневной производительности на примере КПК-2-01, выявленная ранее [9].

**Заключение.** Поиск резервов повышения эффективности функционирования сельскохозяйственных систем с транспортным обеспечением на уборке урожая является важной задачей. Применение системных и вероятностно-статистических методов позволяет оценивать качество выполнения разнообразных полевых работ, рассчитывать значения выходных показателей и устанавливать соответствующие закономерности, на их основе уточнять интерпретацию полученных результатов и разрабатывать мероприятия по совершенствованию организационных, технических, технологических и других операций, применяемых в транспортно-уборочных процессах.

Предложенная авторами математическая модель функционирования технологической системы «человек» – «машина» – «среда» – «транспорт» и способ ее реализации методом хронометражных наблюдений с декомпозицией временных характеристик к элементам системы носят универсальный характер и получили широкое распространение. Внесение изменений в баланс времени рабочей смены при уборке зерновых, кормовых, овощных и других культур позволяет объединять временные показатели в отдельные блоки, относящиеся к компонентам системы. Это способствует определению степени влияния каждой составляющей технологической системы на надежность ее функционирования в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аббасов Г.И. Исследование технологического процесса уборки и послеуборочной обработки картофеля // Аграрная наука. 2019. № 6. С. 33–35.





2. Андреев О.П. Научные основы эффективного использования машинно-тракторных агрегатов. М.: Автограф, 2020. 115 с.
3. Алтухова Т.А., Алтухов С.В., Шуханов С.Н. Анализ работ по надежности технологических систем в исследованиях функционирования машинно-тракторных агрегатов АПК // Известия Международной академии аграрного образования. 2020. № 50. С. 5–7.
4. Боннет В.В. Влияние технического состояния картофелеуборочного комбайна на надежность и экономичность функционирования технологического процесса (на примере КПК-2-01): дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. Новосибирск, 2001. 198 с.
5. Безносюк Р.В., Евтехов Д.В., Бoryчев С.Н., Костенко М.Ю., Рембалович Г.К. Повышение эффективности работы для очистки вороха в картофелеуборочных машинах // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2020. № 4 (48). С. 77–82.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М., 2022. 479 с.
7. Глемба К.В., Гриценко А.В., Плаксин А.М. Концепция повышения эффективности транспортно-технологической системы в сельской хозяйстве // Актуальные вопросы агроинженерных и агрономических наук: материалы нац. (всерос.) науч. конф. Челябинск, 2021. С. 54–60.
8. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 12–16.
9. Овчинникова Н. И., Косарева А. В., Мошкин Н. И. Динамика изменения дневной производительности уборочной технологической системы с транспортным обеспечением // Вестник ВСГУТУ. 2018. № 2(69). С. 32–37.
10. Ovchinnikova N. I., Kosareva A. V., Bonnet V. V. Analysis of functioning of potato-terminal technological system based on probability-statistical approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 года. Vol. 341. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012129. DOI 10.1088/1755-1315/341/1/012129.

## REFERENCES

1. Abbasov G.I. Study of the technological process of harvesting and post-harvest processing of potatoes. Agrarian science. 2019. No. 6. S. 33–35. (In Russ.).
2. Andreev O.P. Scientific foundations for the effective use of machine-tractor units. Moscow, 2020. 115 p. (In Russ.).
3. Altukhova T.A., Altukhov S.V., Shukhanov S.N. Analysis of work on the reliability of technological systems in research on the functioning of machine-tractor units of the agro-industrial complex. *Proceedings of the International Academy of Agrarian Education*. 2020;50:5–7. (In Russ.).
4. Bonnet V.V. Influence of the technical condition of the potato harvester on the reliability and efficiency of the functioning of the technological process (on the example of КПК-2-01). Novosibirsk, 2001. 198 p. (In Russ.).
5. Beznosyuk R.V., Evtexov D.V., Borychev S.N., Kostenko M.Yu., Rembalovich G.K. Improving the efficiency of work for cleaning a heap in potato harvesters. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University. P.A. Kostychev*. 2020;4 (48):77–82. (In Russ.).
6. Gmurman V.E. Theory of Probability and Mathematical Statistics. Moscow, 2022. 479 p. (In Russ.).
7. Glemba K.V., Gritsenko A.V., Plaksin A.M. The concept of improving the efficiency of the transport-technological system in agriculture. *Topical issues of agroengineering and agronomic sciences*. Chelyabinsk, 2021:54–60. (In Russ.).
8. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. A method for a comprehensive assessment of the quality of technological operations of energy-saving technology for harvesting root crops and potatoes. *Agroengineering*. 2022;24;1:12–16. (In Russ.).
9. Ovchinnikova N. I., Kosareva A. V., Moshkin N. I. Dynamics of changes in the daily productivity of a harvesting technological system with transport support. *Bulletin of the ESGUTU*. 2018;2(69):32–37. (In Russ.).
10. Ovchinnikova N. I., Kosareva A. V., Bonnet V. V. Analysis of functioning of potato-terminal technological system based on probability-statistical approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019*, Kurgan, 18–19 April 2019. Vol. 341. Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012129. DOI 10.1088/1755-1315/341/1/012129.

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 21.04.2023; принята к публикации 12.05.2023.

The article was submitted 28.03.2023; approved after reviewing 21.04.2023; accepted for publication 12.05.2023.