



М.Н. Полковская
*Иркутский государственный аграрный университет
имени А.А. Ежевского,
г. Иркутск, Российская Федерация*

В.Н. Хабардин
*Иркутский государственный аграрный университет
имени А.А. Ежевского,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Алгоритмическое и программное обеспечение определения трудоемкости односезонного технического обслуживания тракторов

Аннотация. В работе приведено описание программы для расчета суммарной удельной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании. Математическое обеспечение программы представлено моделями, позволяющими на основании данных о сезонной наработке тракторов рассчитать суммарную удельную трудоемкость технического обслуживания. В алгоритмическом обеспечении сформулированы основные этапы расчета исследуемого показателя. Пользовательский интерфейс программы создан в виде формы с использованием языка программирования Visual Basic for Applications. Помимо самой трудоемкости с помощью программы рассчитываются статистические параметры, верхние границы сезонной наработки и вероятности интервалов. Предложенная программа может быть применима для расчета суммарной удельной трудоемкости технического обслуживания не только тракторов, но и других машин, применяемых в аграрном производстве.

Ключевые слова. Математическая модель, алгоритм, программа, удельная трудоемкость технического обслуживания.

Информация о статье. Дата поступления: 5 июня 2023 г.; дата принятия к публикации: 19 июня 2023 г.; дата онлайн-размещения: 28 сентября 2023 г.

Original article

M.N. Polkovskaya
*Irkutsk State Agricultural University
named after A.A. Ezhevsky,
Irkutsk, Russian Federation*

V.N. Khabardin
*Irkutsk State Agricultural University
named after A.A. Ezhevsky,
Irkutsk, Russian Federation*

Algorithmic and Software Program for Determining the Labor Intensity of One-Season Maintenance of Tractors

Abstract. The paper describes a program for calculating the total specific labor intensity of tractor maintenance during their one-season use. The mathematical

support of the program is represented by models that allow, based on data on the seasonal operation of tractors, to calculate the total specific labor intensity of maintenance. In the algorithmic support, the main stages of calculating the indicator under study are formulated. The user interface of the program is created in the form of a form using the Visual Basic for Applications programming language. In addition to the labor intensity itself, the program calculates statistical parameters, upper limits of seasonal operating time and probabilities of intervals. The proposed program can be used to calculate the total specific labor intensity of maintenance not only for tractors, but also for other machines used in agricultural production.

Keywords. Mathematical model, algorithm, program, specific labor intensity of maintenance.

Article info. Received 5 June, 2023; Accepted 19 June, 2023; Available online 28 September, 2023.

Введение

Автоматизация и цифровая трансформация охватывают разнообразные сферы деятельности человека: производственную, лесозаготовительную, сельскохозяйственную и др. В связи со значительными количественными и качественными изменениями парка сельскохозяйственной техники, а также варьирующими условиями хозяйствования требуется совершенствование форм и правил использования машин, улучшение организации их обслуживания, ремонта и модернизации ремонтно-эксплуатационной базы (РЭБ) [1].

Качественное и своевременное выполнение операций технического обслуживания (ТО) при использовании и хранении техники оказывают значительное влияние на окружающую среду, безопасность жизнедеятельности, здоровье людей и сохранность имущества [2].

Обеспечение сельскохозяйственных машин техническим сервисом на протяжении всего жизненного цикла является актуальной и в то же время трудоемкой задачей [3]. Кроме того, для определения межремонтного периода необходимо использовать различные показатели надежности элементов, составляющих конструкцию данного узла или машины, сгруппированные по своей схожести и кратным нормативным срокам службы [4–6]. Отсюда, целью работы является создание алгоритмического и программного обеспечения для расчета суммарной удельной трудоемкости ТО тракторов при их односезонном использовании. В качестве научной новизны можно выделить создание математического и алгоритмического обеспечения для автоматизации расчетов различных показателей ТО сельскохозяйственных машин, которое снизит временные затраты на их определение и позволит избегать ошибок в расчетах.

Материалы и методы

Создано алгоритмическое и программное обеспечение определения суммарной удельной трудоемкости ТО тракторов при их односезонном использовании на основе вероятностной оценки сезонной

наработки машин [7]. Алгоритм апробирован на экспериментальных данных о пределах сезонной наработки, полученных с помощью опроса экспертов, в качестве которых выступали инженеры более тридцати сельскохозяйственных предприятий Иркутской области.

Пользовательский интерфейс программы создан на языке программирования Visual Basic for Applications.

Результаты и их обсуждение

Математическое обеспечение. Суммарная удельная трудоемкость ТО машин, используемых на сельскохозяйственном предприятии, определяется как отношение суммарной трудоемкости технических обслуживаний машин к их суммарной наработке [8]

$$T_{qi} = \frac{T_{Ci}}{\tau_{Ci}}, \quad (1)$$

где T_{qi} — суммарная удельная трудоемкость ТО i -й марки машин; T_{Ci} — суммарная трудоемкость ТО i -х машин, τ_{Ci} — суммарная наработка за сезон i -х машин.

Суммарная трудоемкость ТО i -й марки машин T_{Ci} для односезонного использования рассчитывается по формуле

$$T_{Ci} = T_{T1Ci} + T_{T2Ci} + T_{XCi}, \quad (2)$$

где T_{T1Ci} , T_{T2Ci} — суммарная трудоемкость ТО-1 и ТО-2 i -той марки машин; T_{XCi} — суммарная трудоемкость снятия и подготовки машин к хранению. Для определения значений этих показателей используются следующие формулы:

$$T_{T1Ci} = T_{T1i} n_{Mi} P_{T1i}, \quad (3)$$

$$T_{T2Ci} = T_{T2i} n_{Mi} P_{T2i}, \quad (4)$$

$$T_{XCi} = T_{Xi} n_{Mi}, \quad (5)$$

где n_{Mi} — количество машин i -й марки, используемых односезонно; T_{T1i} , T_{T2i} , T_{Xi} — операционная трудоемкость ТО-1, ТО-2 и ТО при снятии и подготовке машин i -й марки к хранению; P_{T1i} , P_{T2i} — вероятность ТО-1 и ТО-2, рассчитываемая, как вероятность максимального значения сезонной наработки.

Преобразовав выражение (2), получим

$$T_{Ci} = (T_{T1i} P_{T1i} + T_{T2i} P_{T2i} + T_{Xi}) n_{Mi}. \quad (6)$$

Значение τ_{Ci} определяется по формуле

$$\tau_{Ci} = \tau_{1i} + \tau_{2i} + \tau_{3i} + \dots + \tau_{ni} \quad (7)$$

или

$$\tau_{Ci} = \bar{\tau}_i n_{Mi}, \quad (8)$$

где $\tau_{1i}, \tau_{2i}, \tau_{3i}, \dots, \tau_{ni}$ — сезонная наработка 1-й, 2-й, 3-й и n -й машины i -й марки; $\bar{\tau}_i$ — математическое ожидание (среднее значение) сезонной наработки i -й марки машин.

Подставив в выражение (1) правые части уравнений (6) и (8), получим

$$T_{qi} = \frac{T_{T1i}P_{T1i} + T_{T2i}P_{T2i} + T_{Xi}}{\bar{\tau}_i}. \quad (9)$$

В качестве распределения вероятностей ТО предложен нормальный закон [9]. При этом заданные интервалы наработки кратны периодичности ТО — 125 мотоц. [9]. Формула для нахождения интервалов вероятностей ТО имеет вид:

$$P_{T1i}^m = p_{T1i}^{m\beta} - p_{T1i}^{m\alpha}, \quad (10)$$

где m — номер интервала наработки, $p_{T1i}^{m\alpha}$ — вероятность нижней границы интервала наработки, $p_{T1i}^{m\beta}$ — вероятность верхней границы интервала наработки. Аналогичным образом определяют P_{T2i}^m .

Расчет суммарной удельной трудоемкости ТО машин для различных значений T_{T1i} , T_{T2i} и P_{T1i}^m , P_{T2i}^m , соответствующих пределам сезонной наработки машин, осуществляют по следующим формулам:

$$T_{125qi} = \frac{T_{Xi}}{\bar{\tau}_i}, \quad (11)$$

$$T_{250qi} = \frac{T_{T1i}P_{T1i}^1 + T_{Xi}}{\bar{\tau}_i}, \quad (12)$$

$$T_{375qi} = \frac{T_{T1i}P_{T1i}^1 + T_{T1(2)i}P_{T1i}^2 + T_{Xi}}{\bar{\tau}_i}, \quad (13)$$

...

$$T_{625qi} = \frac{T_{T1(1)i}P_{T1(1)i}^1 + T_{T1(2)i}P_{T1(2)i}^2 + T_{T1(3)i}P_{T1(3)i}^3 + T_{T2(1)i}P_{T2(1)i}^1 + T_{Xi}}{\bar{\tau}_i}, \quad (14)$$

...

$$T_{1000qi} = \frac{T_{T1(1)i}P_{T1(1)i}^1 + T_{T1(2)i}P_{T1(2)i}^2 + T_{T1(3)i}P_{T1(3)i}^3 + T_{T2(1)i}P_{T2(1)i}^1}{\bar{\tau}_i} + \frac{T_{T1(4)i}P_{T1(4)i}^4 + T_{T1(5)i}P_{T1(5)i}^5 + T_{T1(6)i}P_{T1(6)i}^6 + T_{Xi}}{\bar{\tau}_i}. \quad (15)$$

Здесь 125, ..., 1000 — значения наработки, кратные 125.

Алгоритмическое обеспечение. Для расчета суммарной удельной трудоемкости ТО тракторов при их односезонном использовании на первом этапе осуществляют ввод исходных данных (фактических или экспериментальных) (рис. 1).

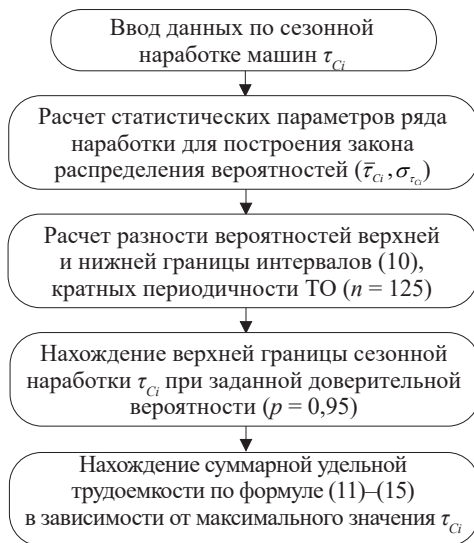


Рис. 1. Алгоритм расчета суммарной удельной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании

Для расчета вероятности ТО сначала методом моментов рассчитываются статистические параметры данных о сезонной наработке машин: математическое ожидание (среднее значение) и стандартное (среднеквадратическое) отклонение.

После этого исходные данные делятся на интервалы, кратные периодичности ТО и по формуле (10), с учетом статистических параметров, рассчитывается вероятность каждого интервала. В завершение выполнен расчет количества значений исходного ряда наработки, попавших в эти интервалы, для каждого из которых по формуле (10) вычислена вероятность ТО.

Затем определяется верхнее значение сезонной наработки, соответствующее доверительной вероятности 0,95, согласно которому из (11)–(15) выбирается формула для расчета суммарной удельной трудоемкости ТО машин при их односезонном использовании (чел.-ч. / моточ.).

Пользовательский интерфейс. Для автоматизации расчета суммарной удельной трудоемкости ТО при односезонном использовании машин разработана программа. Пользовательский интерфейс (форма) создан в Visual Basic for Applications [10] (рис. 2).

Расчет трудоемкости

Среднее значение	Стандартное отклонение	Интервалы сезонной наработки тракторов	Вероятность попадания в заданный интервал
<input type="text"/>	<input type="text"/>	0-125	<input type="text"/>
<input type="button" value="Рассчитать статистические параметры"/>		126-250	<input type="text"/>
<input type="button" value="Верхняя граница сезонной наработки"/>		251-375	<input type="text"/>
<input type="button" value="Рассчитать"/>		376-500	<input type="text"/>
<input type="text"/>		501-625	<input type="text"/>
<input type="text"/>		626-750	<input type="text"/>
<input type="text"/>		751-875	<input type="text"/>
<input type="text"/>		876-1000	<input type="text"/>
<input type="button" value="Рассчитать"/>		<input type="button" value="ОЧИСТИТЬ"/>	
<input type="text"/>		<input type="button" value="ВЫХОД"/>	

Суммарная удельная трудоемкость технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании (чел.-ч./моточ.)

Рис. 2. Окно программы для расчета суммарной удельной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании

Окно программы состоит из кнопок и полей для вывода результатов расчетов. При вычислении суммарной удельной трудоемкости необходимо соблюдать последовательность, представленную в алгоритме (рис. 1).

С помощью кнопки «Рассчитать статистические параметры» определяют среднее значение и стандартное отклонение исходного ряда (рис. 3).

Затем рассчитывается верхняя граница сезонной наработки. На основании значений, полученных на первом и втором шаге, определяют вероятности интервалов сезонной наработки.

Расчет трудоемкости

Среднее значение	Стандартное отклонение	Интервалы сезонной наработки тракторов	Вероятность попадания в заданный интервал
428	150	0-125	0.02
<input type="button" value="Рассчитать статистические параметры"/>		126-250	0.096
<input type="button" value="Верхняя граница сезонной наработки"/>		251-375	0.243
<input type="button" value="Рассчитать"/>		376-500	0.319
<input type="text"/>		501-625	0.219
<input type="text"/>		626-750	0.078
<input type="text"/>		751-875	-
<input type="text"/>		876-1000	-
<input type="button" value="Рассчитать"/>		<input type="button" value="ОЧИСТИТЬ"/>	
<input type="text"/>		<input type="button" value="ВЫХОД"/>	

Суммарная удельная трудоемкость технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании (чел.-ч./моточ.)

0.048

Рис. 3. Результаты расчетов суммарной удельной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании

Заключительным шагом является расчет суммарной удельной трудоемкости ТО тракторов при их односезонном использовании.

Описанная программа апробирована на экспериментальных данных о сезонной наработке тракторов, полученных с помощью оценок экспертов. Количество данных о наработке составило 100 значений. Согласно расчетам суммарная удельная трудоемкость технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании составила 0,048 чел. - ч. / моточ. Полученное значение показывает, что на один отработанный моточас машины необходимо 0,048 чел.-ч. технического обслуживания (ТО1 или ТО2 в зависимости от наработки и марки машины).

Заключение

В работе предложены математические модели для определения суммарной удельной трудоемкости технического обслуживания машин при их односезонном использовании на сельскохозяйственных предприятиях. Расчеты этого показателя осуществляются на основе экспертных оценок или фактических данных о сезонной наработке определенного вида машины или их совокупности.

Для автоматизации вычислений суммарной удельной трудоемкости технического обслуживания машин при их односезонном использовании разработано алгоритмическое обеспечение и программа [7]. Пользовательский интерфейс, созданный с помощью инструментов Visual Basic for Applications, отличается простотой применения и не требует наличия специальных навыков у пользователей.

Предложенная программа может быть применима в сельскохозяйственных предприятиях, в образовательных учреждениях для обучения студентов различных уровней подготовки, а также при повышении квалификации и переподготовке кадров АПК.

Список использованной литературы

1. Мишина З.Н. Состояния инженерно-технического обеспечения сельскохозяйственного производства России / З.Н. Мишина. — EDN YVGMVR // Труды ГОСНИТИ. — 2018. — Т. 130. — С. 12–19.
2. Пучин Е.А. Методические основы разработки и внедрение ресурсосберегающих технологий технического обслуживания сельскохозяйственной техники : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / Е.А. Пучин. — Москва, 1998. — 46 с.
3. Мишина З.Н. Техническое сопровождение сельскохозяйственной техники в течение всего жизненного цикла машин / З.Н. Мишина. — EDN UQBYBD // Техника и оборудование для села. — 2018. — № 5. — С. 41–43.
4. Хатунцев В.В. Анализ методов определения межремонтного периода сельскохозяйственной техники / В.В. Хатунцев, С.Е. Духанин, О.Р. Аверин. — EDN AVVVLT // Наука и образование. — 2019. — Т. 2, № 4. — С. 284.
5. Theoretical substantiation of machine-tractor fleet technical maintenance system on the example of Omsk region agricultural enterprises / O.V. Myalo, V.V. Myalo, S.P. Prokopov [at al.]. — DOI 10.1088/1742-6596/1059/1/012005. — EDN PAWEFD // Journal of Physics: Conference Series. — 2018. — Vol. 1059. — P. 012005.

6. Прокопов С.П. Повышение надежности тракторов сельскохозяйственных предприятий Омской области за счет внедрения новой формы организации технического обслуживания / С.П. Прокопов, О.В. Мяло. — EDN BXQTSY // Вестник Омского государственного аграрного университета. — 2020. — № 2 (38). — С. 178–188.

7. Полковская М.Н. Программа для расчета удельной суммарной трудоемкости технического обслуживания тракторов при их односезонном использовании : свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022662424, 04 июля 2022 : заявка № 2022661197 от 16 июня 2022 / М.Н. Полковская, В.Н. Хабардин.

8. Хабардин В.Н. Методика определения технико-экономических показателей технического обслуживания машин при их односезонном использовании / В.Н. Хабардин, М.Н. Полковская, Н.О. Шелкунова. — DOI 10.37670/2073-0853-2022-96-4-112-116. — EDN IIVVIQ // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2022. — № 4 (96). — С. 112–116.

9. Маслов Г.Г. Техническая эксплуатация МТП : учеб. пособие / Г.Г. Маслов, А.П. Карабаницкий, Е.А. Кочкин. — Краснодар, 2008. — 142 с. — EDN WMOUNN.

10. Александер М. Excel 2016. Профессиональное программирование на VBA / М. Александер, Р. Куслейка. — Москва : Диалектика, 2018. — 784 с.

References

1. Mishina Z.N. Engineering Status-Technical Support of Agricultural Production of Russia. Trudy GOSNITI = Works of GOSNITI, 2018, vol. 130, pp. 12–19. (In Russian). EDN: YVGMVR.

2. Puchin E.A. *Methodological bases for the development and implementation of resource-saving technologies for the maintenance of agricultural machinery*. Doct. Diss. Thesis. Moscow, 1998. 46 p.

3. Mishina Z.N. Technical Support of Agricultural Machinery Throughout the whole Life Cycle of Machines. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*, 2018, no. 5, pp. 41–43. (In Russian). EDN: UQBYBD.

4. Khatuntsev V.V., Dukhanin S.E., Averin O.R. Analysis of Methods for Determining the Inter-Repair Period of Agricultural Equipment. *Nauka i obrazovanie = Science and Education*, 2019, vol. 2, no. 4, pp. 284. (In Russian). EDN: AVVVLT.

5. Myalo O.V., Myalo V.V., Prokopov S.P., Solomkin A.P., Soynov A.S. Theoretical Substantiation of Machine-Tractor Fleet Technical Maintenance System on the Example of Omsk Region Agricultural Enterprises. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1059, pp. 012005. EDN: PAWEFD. DOI: 10.1088/1742-6596/1059/1/012005.

6. Prokopov S.P., Myalo O.V. Improvement of the Reliability of Tractors of Agricultural Enterprises of the Omsk Region by Implementing a New Form in the Organization of Maintenance Operations. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Omsk State Agrarian University*, 2020, no. 2, pp. 178–188. (In Russian). EDN: BXQTSY.

7. Polkovskaya M.N., Khabardin V.N. *The program for calculating the total labor intensity of maintenance of tractors in their one-season collection*. Registration certificate for the computer program No. 2022662424 dated July 04, 2022 Application No. 2022661197 dated June 16, 2022

8. Habardin V.N., Polkovskaya M.N., Shelkunova N.O. Methodology for Determining Technical and Economic Indicators of Machine Maintenance during their Single-Season USE. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2022, no. 4, pp. 112–116. (In Russian). EDN: IIVVIQ. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-96-4-112-116.

9. Maslov G.G., Karabanitskii A.P., Kochkin E.A. *Technical operation of MTP*. Krasnodar, 2008. 142 p. EDN: WMOUNN.

10. Alexander M., Kusleika R. *Excel 2016 Power Programming with VBA*. John Wiley and Sons, 2016. 768 p. (Russ. ed.: Alexander M., Kusleika R. *Excel 2016 Power Programming with VBA*. Moscow, Dialektika Publ., 2018. 784 p.).

Информация об авторах

Полковская Марина Николаевна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и математического моделирования, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: polk_mn@mail.ru.

Хабардин Василий Николаевич — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: habardinv@mail.ru.

Information about the Authors

Marina N. Polkovskaya — PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Science and Mathematical Modeling, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: polk_mn@mail.ru.

Vasily N. Khabardin — D.Sc. in Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Machine and Tractor Fleet Operation, Life Safety and Vocational Training, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: habardinv@mail.ru.

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the Authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Для цитирования

Полковская М.Н. Алгоритмическое и программное обеспечение определения трудоемкости односезонного технического обслуживания тракторов / М.Н. Полковская, В.Н. Хабардин. — DOI 10.17150/2713-1734.2023.5(3).266-274. — EDN HZVYIB // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2023. — Т. 5, № 3. — С. 266–274.

For Citation

Polkovskaya M.N., Khabardin V.N. Algorithmic and Software Program for Determining the Labor Intensity of One-Season Maintenance of Tractors. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2023, vol. 5, no. 3, pp. 266–274. (In Russian). EDN: HZVYIB. DOI: 10.17150/2713-1734.2023.5(3).266-274.