

Шевченко С. А.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко
E-mail: Serg.Shevchen@gmail.com

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ
МАШИН РАСТЕНИЕВОДСТВА

УДК 62-192; 631.3

Прогнозирование коэффициента готовности машин осуществляется на основе экстраполяции зависимости накопленной продолжительности восстановлений от наработки. Разработанная методика предназначается для прогнозирования коэффициента готовности при выполнении технологической операции одной или несколькими машинами. Получены рекуррентные зависимости для определения коэффициента готовности машин на несколько сезонов вперед.

Ключевые слова: коэффициент готовности, прогнозирование, машина, наработка, длительность восстановлений, отказ.

Введение. При планировании технологических операций растениеводства возникает необходимость в учете влияния отказов машин на их производительность, продолжительность технологических операций и потери части урожая, обусловленные несвоевременным выполнением операций [1]. Такие же задачи возникают и при оптимизации машинотракторного парка предприятий. При этом, с учетом срока службы и стоимости машин, планирование обновления машинотракторного парка целесообразно осуществлять на несколько сезонов работ вперед.

Постановка проблемы. Если в эксплуатации находятся машины, выпускающиеся длительное время (превышающее срок эксплуатации), то при решении указанных выше задач можно воспользоваться статистическими данными об эксплуатационной надежности машин (в частности, зависимостями коэффициента готовности от наработки). Однако, в связи с сокращением сроков разработки новых машин и переходом на перспективные методы обслуживания машин (например, обслуживание по состоянию), все чаще будет возникать ситуация нехватки статистических данных о надежности машин при наработках, которые превышают фактически достигнутые значения.

В связи с этим возникает проблема прогнозирования производительности машин с учетом потерь времени на восстановление работоспособности после отказов [2].

Анализ исследований и публикаций. Цель исследования. Исследования, посвященные влиянию наработки и срока эксплуатации машин на эффективность их применения, осуществляются в двух основных направлениях. Во-первых, это исследование влияния срока эксплуатации машин на удельные эксплуатационные расходы [3] и интенсивность отказов [4].

Во-вторых, это исследование влияния срока эксплуатации машин на комплексные показатели надежности – в частности, коэффициент готовности. Проанализируем эти исследования более подробно.

В работе [1] приведены значения коэффициентов готовности зерноуборочных комбайнов с различными сроками эксплуатации; для аппроксимации уменьшения среднего коэффициента готовности от порядкового номера сезона работ используется экспоненциальная функция, аргументом которой является полином третьей степени. Регрессионные зависимости количества отказов от наработки тракторов получены в [2].

В работе [5] приведены зависимости коэффициентов готовности комбайнов в зависимости от наработки (в часах), а в работе [6] – аналогичные данные для тракторов (в зависимости от срока эксплуатации, выраженного в годах). В [6] получено уравнение

множественной регрессии для определения годовой выработки трактора (в гектарах), при этом влияние срока эксплуатации выражается линейной зависимостью.

Данные о динамике годовой наработки тракторов приведены в работе [7]. Для прогнозирования уменьшения коэффициента готовности в [8] применена линейная аппроксимация его уменьшения с наработкой.

При аппроксимации уменьшения коэффициента готовности легкового автомобиля от пробега в работе [9] использованы линейная регрессионная зависимость и полином третьей степени. В работе [10] предложен алгоритм оптимизации сезонной наработки комбайнов различных ресурсных групп. В [11] используется экспоненциальная зависимость коэффициента готовности от срока эксплуатации машин. Данные об изменении коэффициента готовности по мере увеличения наработки тракторов приведены в [12]. В работе [13] использован полином второго порядка для аппроксимации взаимосвязи коэффициента готовности и наработки машины.

Обзор литературы позволяет сделать вывод, что полученные в этих работах статистические данные и зависимости, аппроксимирующие влияние наработки на коэффициент готовности, используются, преимущественно, для планирования применения с учетом ожидаемой надежности [1, 6, 10], совершенствования технической эксплуатации [9], оптимизации срока службы машин [7, 13]. Значительно менее исследована задача прогнозирования коэффициента готовности [2, 8].

Нерешенной частью проблемы является обоснование выбора регрессионных зависимостей, используемых при прогнозировании коэффициента готовности машин.

Целью данной статьи является разработки методики прогнозирования мгновенных и средних значений коэффициента готовности машин при выполнении технологических операций растениеводства одной или несколькими машинами.

Разрабатываемая методика основывается на аппроксимации зависимости накопленной продолжительности восстановлений машины от наработки и прогнозирования коэффициента готовности на основе экстраполяции полученной зависимости.

Выбор функции, аппроксимирующей зависимость коэффициента готовности машины от наработки. Рассмотрим малый интервал времени в окрестности точки, соответствующей некоторой накопленной наработке. Этот интервал разобьем на две части, соответствующие работе машины и её восстановлению, и воспользуемся вероятностным определением мгновенного значения коэффициента готовности [14]:

$$\Delta t = \Delta t_p + \Delta t_B, \quad (1)$$

$$A(t) = \frac{\Delta t_p}{\Delta t} = \frac{\Delta t_p}{\Delta t_p + \Delta t_B}, \quad (2)$$

где Δt – интервал времени, час;

Δt_p – приращение наработки машины, час;

Δt_B – приращение суммарной продолжительности восстановления машины, час;

A – коэффициент готовности машины;

t – наработка машины, час;

Преобразуем (2), полагая длительность рассматриваемого интервала времени стремящейся к нулю. Определяя производную суммарной длительности восстановлений по наработке, получим:

$$A(t) = \lim_{\Delta t_p \rightarrow 0} \frac{\Delta t_p}{\Delta t_p + \Delta t_B(\Delta t_p)} = \frac{1}{1 + t'_B(t)}, \quad (3)$$

где t'_B – накопленная длительность восстановлений, час.

Рассмотрим пример выбора аппроксимирующей зависимости на примере обработки данных об эксплуатационной надежности тракторов [12]. В работе [12] приведены данные о годовой загрузке и коэффициенте готовности тракторов при обслуживании их мастерами-наладчиками и в условиях рядовой эксплуатации. По этим данным получены зависимости суммарных продолжительностей восстановлений от наработки. Аппроксимация этих зависимостей осуществлялась с помощью степенных и экспоненциальных зависимостей, а также полиномами второго порядка. Использовались две разновидности полинома второго порядка:

$$t_B(t) = a_1 t + a_2 t^2, \quad (4)$$

$$t_B(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2, \quad (5)$$

где a_0, a_1, a_2 – параметры аппроксимации.

Для каждой аппроксимации вычисляли достоверность аппроксимации и приведенную погрешность – см. табл. 1. Пример такой аппроксимации (при обслуживании тракторов мастером-наладчиком) показан на рис. 1.

Таблица 1

Результаты сравнения аппроксимаций суммарных продолжительностей восстановления от наработки

Обслуживание трактора	Аппроксимация	Приведенная погрешность, %
Обслуживание мастером-наладчиком	экспоненциальная	18
	степенная	18
	полином (4)	4
	полином (5)	2
Рядовая эксплуатация	экспоненциальная	24
	степенная	24
	полином (4)	7
	полином (5)	2

Таким образом, лучшей среди использованных аппроксимаций является аппроксимация полиномом второй степени (5). При использовании полиномов (4, 5) получим:

$$t'_B(t) = a_1 + 2a_2 t, \quad (6)$$

$$A(t) = \frac{1}{1+t'_B(t)} = \frac{1}{1+a_1+2a_2 t}. \quad (7)$$

Для построения графика (7) перейдем к безразмерным аргументам, а именно: начальному значению коэффициента готовности; относительной наработке (отношению наработки к ресурсу); соотношение между параметрами a_1 и a_2 будем характеризовать долей квадратичной составляющей в накопленной длительности восстановлений (4, 5) в момент исчерпания ресурса:

$$A(0) = \frac{1}{1+a_1}, \quad (8)$$

$$k_B = \frac{a_2 t_{Pec}^2}{t_B(t_{Pec})} = \frac{a_2 t_{Pec}^2}{a_1 t_{Pec} + a_2 t_{Pec}^2} = \frac{a_2 t_{Pec}}{a_1 + a_2 t_{Pec}}, \quad (9)$$

где k_B – доля квадратичной составляющей в накопленной длительности восстановлений;

t_{Pec} – ресурс машины, час.

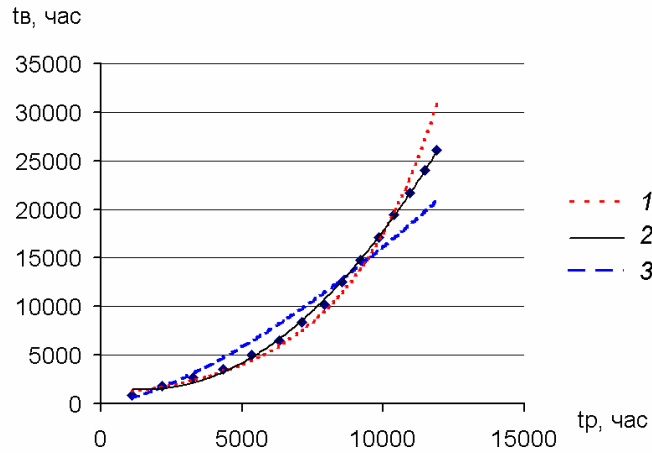


Рис. 1 – Аппроксимации суммарной продолжительности восстановлений от наработки: 1 – экспоненциальная аппроксимация, 2 – аппроксимация полиномом второго порядка (5), 3 – степенная аппроксимация

Коэффициенты a_1 и a_2 определим из соотношений (8, 9):

$$a_1 = \frac{1 - A(0)}{A(0)}, \quad (10)$$

$$a_2 = \frac{1 - A(0)}{A(0)} \cdot \frac{k_B}{(1 - k_B)t_{Pec}}. \quad (11)$$

Преобразуем (7) с учетом (10, 11):

$$A\left(\frac{t}{t_{Pec}}\right) = \frac{1}{\frac{1}{A(0)} + 2 \frac{1 - A(0)}{A(0)} \cdot \frac{k_B}{(1 - k_B)} \cdot \frac{t}{t_{Pec}}}. \quad (12)$$

График зависимости (12) приведен на рис. 2.

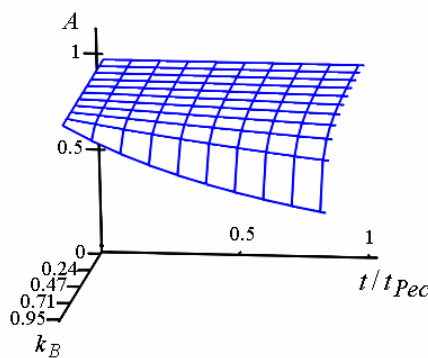


Рис. 2 – Зависимость коэффициента готовности от относительной наработки t/t_{Pec} и доли квадратичной составляющей в накопленной длительности восстановлений k_B при начальном значении коэффициента готовности $A(0) = 0.98$

Определение среднего значения коэффициента готовности. Определим среднее значение коэффициента готовности на заданном интервале наработки:

$$A(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} A(t) dt = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{1}{1 + t'_B(t)} dt. \quad (13)$$

При использовании аппроксимации полиномом второго порядка формула (13) примет вид:

$$A(t_1, t_2) = \frac{\ln \left(1 + \frac{2a_2(t_2 - t_1)}{1 + a_1 + 2a_2 t_1} \right)}{2a_2(t_2 - t_1)}. \quad (14)$$

Прогнозирование коэффициента готовности. Рассмотрим прогнозирование коэффициента готовности с помощью зависимости (14). При использовании аппроксимирующих функций (4, 5) для экстраполяции роста накопленной продолжительности восстановлений по мере увеличения наработки, с помощью формулы (14) можно прогнозировать среднее значение коэффициента готовности на заданном интервале времени.

График прогноза коэффициента готовности (14), полученный путем обработки данных о накопленной интенсивности восстановлений на 4–9 годах эксплуатации тракторов [12] и их экстраполяции зависимостью (5), показан на рис. 3. На этом же рисунке показаны контрольные данные, полученные на 10–15 годах эксплуатации [12].

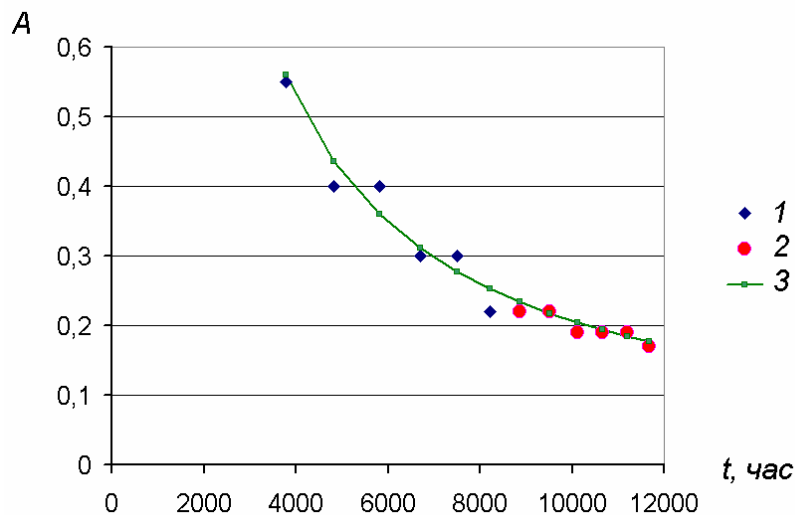


Рис. 3 – Прогноз коэффициента готовности тракторов: 1 – исходные данные, 2 – контрольные данные, 3 – аппроксимация и прогноз

Поскольку планирование применения машин в сельском хозяйстве осуществляется на сезоны работ, то далее рассмотрим особенности прогнозирования среднего значения коэффициента готовности на несколько сезонов вперед.

При этом будем рассматривать такие случаи:

- 1) сезонная наработка имеет фиксированное значение;
- 2) сезон работ имеет фиксированную продолжительность, а фактическая сезонная наработка машины зависит лишь от ее технического состояния;
- 3) технологическая операция выполняется машинами с различными наработками (при этом средние коэффициенты готовности машин различны, различна и сезонная наработка), суммарная сезонная наработка машин имеет фиксированное значение.

Первый случай имеет место, если одна или несколько технологических операций выполняются одной машиной или несколькими машинами, которые имеют близкие значения наработки и, соответственно, коэффициенты готовности. Сезонная наработка определяется исходя из объема работ и производительности машины. Если обрабатываемая площадь поля неизменна, то средний коэффициент готовности на последующие сезоны можно определять по формуле:

$$\bar{A}(n) = A(t_p + (n-1)t_c, t_p + nt_c) = \frac{1}{t_c} \int_{t_p+(n-1)t_c}^{t_p+nt_c} \frac{1}{1+f'(t)} dt, \quad (15)$$

где \bar{A} – средний коэффициент готовности;

n – номер сезона работ, для которого осуществляется прогнозирование ($n = 1$ соответствует сезону, следующему за сезоном, для которого определен накопленный ресурс).

t_c – сезонная наработка, час.

Преобразуем формулу (15), используя аппроксимацию (5):

$$\bar{A}(n) = \frac{\ln \left(1 + \frac{2a_2 t_c}{1 + a_1 + 2a_2 (t_p + (n-1)t_c)} \right)}{2a_2 t_c}. \quad (16)$$

Если сезонная наработка меньше, чем наработки на начало интервала прогнозирования, то эту формулу можно упростить, используя разложение логарифмической функции в ряд Тейлора:

$$\bar{A}(n) \approx \frac{1}{1 + a_1 + 2a_2 t_p + 2a_2 (n-1)t_c}. \quad (17)$$

Преобразуя (17) с учетом (7), получим рекуррентное соотношение:

$$\bar{A}(n) \approx \frac{\bar{A}(n-1)}{1 + 2\bar{A}(n-1)a_2 t_c}. \quad (18)$$

Второй случай имеет место, если продолжительность выполнения работы ограничена (например, агротехническими сроками). В этом случае для следующего сезона работ можно прогнозировать сезонную наработку и коэффициент готовности, решая уравнение:

$$\bar{A}(t_p, t_p + t_c) T_p = t_c, \quad (19)$$

где T_p – продолжительность выполнения технологической операции (с учетом простоев вследствие отказов), час.

При использовании аппроксимаций полиномами второй степени получим:

$$\frac{\ln \left(1 + \frac{2a_2 t_c}{1 + a_1 + 2a_2 t_p} \right)}{2a_2 t_c} T_p - t_c = 0. \quad (20)$$

Если сезонная наработка существенно меньше накопленной наработки, то это уравнение можно упростить, применяя разложение логарифмической функции в ряд Тейлора и ограничиваясь двумя первыми элементами ряда, и прогнозировать сезонную наработку:

$$t_c = \frac{A(t_p) T_p}{1 + A(t_p)^2 T_p a_2}. \quad (21)$$

Это позволяет получить прогноз среднего коэффициента готовности на следующий сезон:

$$\bar{A} = \frac{t_c}{T_p} = \frac{A(t_p)}{1 + A(t_p)^2 T_p a_2}. \quad (22)$$

Определив, таким образом, коэффициент готовности и сезонную наработку на очередной сезон, можно использовать полученные значения для прогноза показателей последующих сезонов. Получим рекуррентные формулы:

$$\bar{A}_i = \frac{A(t_i)}{A^2(t_i)T_p a_2 + 1} , \quad (23)$$

$$t_{i+1} = t_i + \bar{A}_i T_p , \quad (24)$$

где \bar{A}_i – средний коэффициент готовности в i -ом сезоне;

t_i – наработка в i -ом сезоне, час;

Третий случай имеет место, когда технологическая операция выполняется несколькими машинами, имеющими различные значения наработки. При этом полагаем, что все машины одновременно начинают и завершают выполнение операции, а зависимость накопленного времени восстановления для каждой из машин описывается формулами (4) или (5). Суммарную наработку машин при выполнении технологической операции полагаем заданной и неизменной. Определим продолжительность выполнения технологической операции, а также сезонную наработку и средний коэффициент готовности каждой из машин. Для этого, используя формулу (21), получим систему уравнений:

$$\begin{cases} t_{Cj} = \frac{A(t_j) T_p}{A(t_j)^2 T_p a_2 + 1} , & 1 \leq j \leq M \\ \sum_{j=1}^M t_{Cj} = T \end{cases} , \quad (25)$$

где t_{Cj} – сезонная наработка j -ой машины, час;

t_j – наработка j -ой машины перед началом технологической операции, час.

M – количество машин;

T – суммарная наработка машин при выполнении технологической операции, час.

Упростим формулу для определения сезонной наработки машины, входящую в (25), используя разложение дробно-рациональной функции в ряд Тейлора:

$$t_{Cj} = A(t_j) T_p - A^3(t_j) T_p^2 a_2 . \quad (26)$$

Решая систему (25) с учетом (26), получим уравнение для определения продолжительность выполнения технологической операции:

$$a_2 \sum (A^3(t_j)) T_p^2 - \sum (A(t_j)) T_p + T = 0 . \quad (27)$$

Решая это квадратное уравнение, получим:

$$T_p = \frac{T}{\sum_{j=1}^M (A(t_j))} + \frac{a_2 T^2}{M^2} . \quad (30)$$

Спрогнозировав, таким образом, продолжительность выполнения технологической операции, можно вычислить сезонную наработку и средний коэффициент готовности каждой из машин:

$$t_{Cj} = \frac{A(t_j) T_p}{A(t_j)^2 T_p a_2 + 1} , \quad (31)$$

$$\bar{A}_j = \frac{t_{Cj}}{T_p} = \frac{A(t_j)}{1 + A(t_j)^2 T_p a_2} , \quad (32)$$

\bar{A}_j – средний коэффициент готовности j -ой машины.

Полученный прогноз коэффициента готовности может использоваться для определения потерь урожая вследствие несвоевременного выполнения технологической операции по методике [14] и вероятности выполнения технологического процесса из нескольких операций с потерями, которые не превышают допустимое значение, по методике [15].

Выводы. Для прогнозирования коэффициента готовности машин целесообразно получить регрессионную зависимость накопленной продолжительности восстановлений от наработки. Это позволяет прогнозировать мгновенное значение коэффициента готовности и его среднее значение на заданном интервале наработки, осуществляя экстраполяцию полученной зависимости.

На основе аппроксимации зависимость накопленной продолжительности восстановлений от наработки полиномом второго порядка получены зависимости для прогнозирования среднего коэффициента готовности при выполнении технологической операции одной или несколькими машинами. Перспективным направлением дальнейших исследований является оценка погрешности прогнозирования.

Литература

1. Демко О. А. Закономірності впливу тривалості експлуатації зернозбиральних комбайнів на їх технічний стан / О. А. Демко, А. А. Демко, О. В. Надточій // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – Вип. 145. – С. 161-167.
2. Шиловский В. Н. Прогнозирование надежности машин по результатам незавершенных испытаний / В. Н. Шиловский, А. В. Питухин, В. М. Костюкевич, Г. Ю. Гольштейн // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2. – С. 3513-3517.
3. Lips Markus. Repair and Maintenance Costs for Agricultural Machines / Markus Lips, Frank Burose // International Journal of Agricultural Management. – 2012. – Volume 1. – Issue 3/ – P. 40–46.
4. Fatemeh Afsharnia. Failure rate analysis of four agricultural tractor models in southern Iran / Fatemeh Afsharnia, Mohammad Amin Asoodar, Abbas Abdeshahi, Afshin Marzban. // Agric Eng Int. – 2013. – Vol. 15. – No. 4. – P. 160–170.
5. Орлов Н. Б. Повышение надежности агрегатов самоходной сельскохозяйственной техники: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" / Н. Б. Орлов; Московский гос. университет природообустройства. – Москва, 2011. – 19 с.
6. Заинагабдинов Р. Р. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов совершенствованием их распределения по видам работ с учетом текущих условий функционирования: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства", 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" / Р. Р. Заинагабдинов; Санкт-Петербургский гос. аграрный университет. – С.-Пб.–Пушкин, 2004. – 16 с.
7. Вороновский И. Б. Срок службы сельскохозяйственной техники с учетом экологического фактора / И. Б. Вороновский // Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Економічні науки. – 2012. – №3 (69). – Том 2. –С. 14–17.
8. Войтюк В. Д. Визначення роботоздатності техніки за показником технічного стану / В. Д. Войтюк // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – 2009. – Вип. 78.

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
Technical service of agriculture, forestry and transport systems

9. Паули Н. В. О влиянии уровня затрат на техническое состояние автомобилей и их ресурс: Scientific researches and their practical application. modern state and ways of development / Н. В. Паули, М. Ю. Обшивалкин. – 2-12 October 2012.

10. Михайлов М. Р. К вопросу выбора математической модели оптимизации нагрузки зерноуборочных комбайнов в зависимости от их технического состояния / М. Р. Михайлов // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2013. – Том 40. – Вып. №1. – С. 193–198.

11. Репин С. В. Методология совершенствования системы технической эксплуатации строительных машин: автореф. дис. на соискание науч. степени докт. техн. наук: спец. 05.05.04 "Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины" / С. В Репин; Санкт-Петербургский гос. архитектурно-строительный университет. – С.-Пб. – 2008. – 46 с.

12. Лебедев С. А. Оценка надежности трактора при отклонении от правил эксплуатации / С. А. Лебедев, В. Ю. Вишняк, А. В. Кот // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – 2009. Вип. 80 : Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – С. 53–60.

13. Парунакян В. Э., Оценка влияния основных технико-эксплуатационных показателей на срок службы большегрузных автосамосвалов БелАЗ-7540 / В. Э. Парунакян, Ю. В. Артамонова // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. - Маріуполь, 2007. –Вип. 17. –С. 189-192.

14. Надежность в технике. Термины и определения (IEC 60050 (191):1990-12, NEQ): ГОСТ Р 27.002—2009. – 28 с.

15. Шевченко С. Исследование влияния длительности восстановления машины на потери продукции растениеводства / С. Шевченко // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15. –№7. – P. 40-44.

16. Шевченко С.А. Анализ влияния надежности машин технологического комплекса на вероятность выполнения производственного задания // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. –Гомель: ГГТУ, 2010. – №4. – С. 30-36.

Shevchenko S.A. **Prediction of farm machinery availability**

Prediction of machine availability is grounded on extrapolating the accumulated breakdowns time from operating time. Developed techniques are intended to predict the availability at performance of technological process by one machine or multiple machines. Recurrence relations for determining the availability of agricultural machinery for a few seasons ahead are given.

Keywords: availability, prediction, machinery, operating time, duration of recovery, failure/.

References

1. Demko O. A. Zakonomirnosti vplyvu tryvalosti ekspluatatsii zernozbyralnykh kombainiv na yikh tekhnichniy stan / O. A. Demko, A. A. Demko, O. V. Nadtochii // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. - 2014. - Vyp. 145. - S. 161-167.
2. Shilovskij V. N. Prognozirovanie nadezhnosti mashin po rezul'tatam nezavershenykh ispytaniy / V. N. Shilovskij, A. V. Pituhin, V. M. Kostjukevich, G. Ju. Golshtejn // Fundamentalnye issledovaniya. - 2015. - № 2 (chast 16). - S. 3513-3517.
3. Lips Markus. Repair and Maintenance Costs for Agricultural Machines / Markus Lips, Frank Burose // International Journal of Agricultural Management. - 2012. - Volume 1. - Issue 3: 40-46.
4. Fatemeh Afsharnia. Failure rate analysis of four agricultural tractor models in southern Iran / Fatemeh Afsharnia, Mohammad Amin Asoodar, Abbas Abdeshahi, Afshin Marzban // Agric Eng Int. - 2013. - Vol. 15. - No. 4. - p. 160-170.
5. Orlov N. B. Povyshenie nadezhnosti agregatov samohodnoj selskohozhajstvennoj tehniky: avtoref. dis. na soiskanie nauch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.20.03 "Tehnologii i sredstva tekhnicheskogo obsluzhivaniya v selskom hozhajstve" / N. B. Orlov; Moskovskij gos. universitet prirodoobustrojstva. - Moskva, 2011. - 19 s.
6. Zainagabdinov R. R. Povyshenie jeffektivnosti ispolzovaniya mashinno-traktornykh agregatov sovershenstvovaniem ih raspredeleniya po vidam robot s uchetom tekushih uslovij funkcionirovaniya: avtoref. dis. na soiskanie nauch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.20.01 "Tehnologii i sredstva mehanizacii selskogo hozhajstva", 05.20.03 "Tehnologii i sredstva tekhnicheskogo obsluzhivaniya v selskom hozhajstve" / R. R. Zainagabdinov; Sankt-Peterburgskij gos. agrarnyj universitet. - S.-Pb.-Pushkin, 2004. - 16 s.
7. Voronovskij I. B. Srok sluzhby selskohozhajstvennoj tehniky s uchetom jekologicheskogo faktora / I. B. Voronovskij / Zbirnyk naukovykh prats VNAU. - 2012. - No 3 (69). - Tom 2. - S. 14-17.
8. Voytyuk V. D. Vyznachennya robotozdatnosti tekhniky za pokaznykom tekhnichnoho stanu / V. D. Voytyuk // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. P. Vasylenka. - 2009. - Vyp. 78.
9. Pauli N. V. O vlijanii urovnja zatrat na tekhnicheskoe sostojanie avtomobilej i ih resurs: Scientific researches and their practical application. modern state and ways of development / N. V. Pauli, M. Yu. Obshivalkin. - 2-12 October 2012.
10. Mihajlov M. R. K voprosu vybora matematicheskoy modeli optimizacii nagruzki zernouborochnykh kombajnov v zavisimosti ot ih tekhnicheskogo sostojaniya / M. R. Mihajlov // Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2013. - Tom 40. Vyp. №1. - S. 193-198.
11. Repin S. V. Metodolohia sovershenstvovaniya sistemy tekhnicheskoi ekspluatatsii stroitelnykh mashin: avtoref. dis. na soiskanie nauch. stepeni dokt. tehn. nauk: spec. 05.05.04

"Dorozhnie, stroitelnie I podemno-transportnie mashini" / S. V. Repin; Sankt-Peterburhskiy hos. arhitekturno-stroitelniy universitet. – S.-Pb. – 2008. – 46 s.

12. Lebedev S.A. Ocenka nadezhnosti traktora pri otklonenii ot pravil jekspluatacii / S.A. Lebedev, V.Ju. Vishnjak, A.V. Kot // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. P. Vasylenka. – 2009. Vyp. 80 : Problemy nadiynosti mashyn ta zasobiv mekhanizatsiyi silskohospodarskoho vyrobnytstva. – S. 53–60.

13. Parunakjan V. Je. Ocenka vlijanija osnovnyh tehniko-jekspluatsionnyh pokazatelej na srok sluzhby bolshegruznyh avtosamosvalov BelAZ-7540 / V. Je. Parunakjan, Ju. V. Artamonova // Visnyk Pryazov. derzh. tekhn. un-tu : zb. nauk. prats / PDTU. – Mariupol, 2007. – Vyp. 17. – S. 189-192.

14. Nadezhnost v tehnikе. Terminy i opredelenija (IEC 60050 (191):1990-12, NEQ): GOST R 27.002—2009. – 28 s.

15. Shevchenko S. Issledovanie vlijanija dlitelnosti vosstanovlenija mashiny na poteri produkcii rastenievodstva / S. Shevchenko // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15. – №7. – P. 40-44.

16. Shevchenko S.A. Analiz vlijanija nadezhnosti mashin tehnologicheskogo kompleksa na verojatnost vypolnenija proizvodstvennogo zadaniya // Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. P. O. Suhogo. – Gomel: GGTU, 2010. – №4. – S.30-36.