

4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний [Текст] / Я.Г. Пановко. – М.: Наука, 1980. – с.
5. Алфьоров О.І. Динаміка руху та надійність робочих органів ґрунтообробних агрегатів на пружній підвісці [Текст] / О.І. Алфьоров // Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві: Вісник Харківського національного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2015. – Вип. 158. – С. 271-278.

Oleksandr Grynchenko, prof, DSc., Olexyi Alferov, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Kharkov national technical University of agriculture by P. Vasilenko

Theoretical models of functioning and providing technical reliability cultivators with elastic working bodies

The process is compulsory cultivation operation at tillage. Considering the work of the working bodies of elastic cultivators only to ensure mechanical reliability and excluding dynamic components come to demand increase stiffness and eliminating vibrations working bodies.

The present approach allowed to identify the impact speed of the unit, the natural frequency fluctuations in the relative movement and speed of the paw point of attachment to the rack. Introduced factor dynamics loosening. Laid down in Article theoretical basis of dynamic characterization loosening can reasonably do for maintaining reliability.

Dynamic characteristics of workers should be determined based on the model oscillation, it can reasonably predict the mechanical reliability

dynamic calculation, reliability, tillage

Получено 06.11.15

УДК 631.3:62-192

А.В. Невзоров, доц., канд. техн. наук, Ю.А. Ковальчук, доц., канд. техн. наук,

В.В. Дидур, доц., канд. техн. наук

Уманський національний університет садівництва, м.Умань, Україна, rtoarv@meta.ua

Влияние надежности сельхозтехники на вероятность выполнения технологических процес сов

Разработана методика определения соответствия комплексов сельскохозяйственных машин производственной технологии. Решение принимается по результатам вычисления вероятности того, что выполнение сельскохозяйственных работ будет большим, чем минимально допустимое значение, и сравнения этой вероятности с пороговым значением.

сельскохозяйственная техника, технологические процессы, отказы, вероятность безотказной работы

А.В. Невзоров, доц., канд. техн. наук, Ю.А. Ковальчук, доц., канд. техн. наук, В.В. Дідур, доц., канд. техн. наук

Уманський національний університет садівництва, г.Умань, Україна

Вплив надійності сільгосптехніки на імовірність виконання технологічних процесів

Розроблено методику визначення відповідності комплексів сільськогосподарських машин виробничій технології. Рішення приймається за результатами обчислення ймовірності того, що виконання сільськогосподарських робіт буде більшим, ніж мінімально допустиме значення, і порівняння цієї ймовірності з пороговим значенням.

сільськогосподарська техніка, технологічні процеси, відмови, імовірність безвідмовної роботи

Постановка проблемы. Технологические процессы в промышленности, транспорте, сельском хозяйстве состоят из многих операций, выполняемых с помощью комплексов машин. Обслуживание машин по техническому состоянию на основе результатов диагностирования является эффективным средством повышения надежности и снижения эксплуатационных расходов [1 – 4].

Исследования надежности ориентированы преимущественно на машины, отказ которых приводит лишь к приостановке выполнения технологических задач до восстановления машины [4 – 6]. Также значительное внимание уделяется расчету показателей надежности систем, отказы которых приводят к авариям и катастрофам [7].

При выполнении многих работ простой из-за отказов машин приводят к безвозвратной потере части продукции или уменьшению другого полезного эффекта. Например, отказы сельхозмашин приводят к потерям продукции, поскольку урожайность сельскохозяйственных культур зависит от сроков выполнения технологических операций. Такие комплексы из нескольких машин, отказы каждой из которых приводят к потере части продукции, менее исследованы [8 – 10].

Цель статьи – определение вероятности недопустимых потерь продукции вследствие отказов машин при выполнении технологических операций (на примере технологических процессов растениеводства).

Анализ последних исследований и публикаций. В [8] получены выражения для расчета вероятности безотказной работы комплексов машин на протяжении заданного времени и их коэффициента готовности. В [9] разработана методика и осуществлено компьютерное имитационное моделирование выполнения технологического процесса комплексами машин, которые отличаются, в частности, надежностью. В [10] получена зависимость коэффициента эксплуатационной надежности комплекса машин в зависимости от их надежности при различном количестве машин в ненагруженном резерве.

Анализ работ [8]–[10] показал, что исследования преимущественно направлены на определение коэффициентов готовности и технического использования машин. Но эти коэффициенты характеризуют машины и системы их технического обслуживания безотносительно к поставленным задачам. Для предприятия же важен анализ их пригодности для решения производственных задач в конкретных условиях на основе оценивания возможных потерь продукции вследствие отказов (с учетом затрат, обусловленных принятой системой технического обслуживания [6]).

Важнейшим показателем является математическое ожидание потерь продукции – в растениеводстве потери характеризуются снижением коэффициента реализации биологического потенциала (КРБП) растений. Если наработка машин при выполнении операций значительно превышает наработку на отказ, то существенное отклонение потерь времени от среднего значения маловероятно и, следовательно, достаточно определить лишь математическое ожидание потерь продукции. Поскольку надежность и производительность машин возрастают, то наработка машины при выполнении операции зачастую меньше или сравнима с наработкой на отказ. В этом случае даже единичные сложные отказы могут существенно увеличить продолжительность работ и привести к неприемлемым потерям продукции (в этом случае производственная задача считается невыполненной). Поэтому, с учетом рекомендаций [11], следует также определять и вероятность выполнения задания (вероятность того, что потери не превзойдут допустимое значение).

Постановка задачи. Поскольку потери продукции происходят при выполнении каждой из операций, то для отдельной операции нецелесообразно задавать их предельное значение. Поэтому? при выводе аналитических зависимостей в данном подразделе используется граничное значение потерь, являющееся, по сути,

вспомогательной величиной (для которой не требуется задавать численное значение).

Вероятность превышения некоторого граничного значения потерями продукции определим, суммируя произведения вероятностей следующих событий: при выполнении операции произошли один или несколько отказов; потери времени на восстановление машины после отказов привели к превышению граничной потери продукции. При этом поток отказов рассматриваем как поток Пуассона [12] (что не противоречит [13]):

$$P_{\text{пр}}(\Delta K_{\text{гр}}) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{-\lambda T} \cdot p_k(\Delta k_{\text{гр}}) \right], \quad (1)$$

где $P_{\text{пр}}$ – вероятность того, что потери продукции вследствие отказов превысят предельное значение;

$\Delta k_{\text{гр}}$ – граничная потеря продукции;

k – количество отказов;

T – наработка машины, с;

p_k – вероятность того, что потери времени на восстановление машины после k отказов привели к превышению граничной потери продукции;

λ – интенсивность отказов, 1/с.

Для многих технологических операций (в частности – в растениеводстве) зависимость потерь продукции от времени аппроксимируют линейной зависимостью [8]. Определим КРБП растений при выполнении операции при отсутствии отказов (потери обусловлены лишь конечной производительностью машин):

$$k_0 = \frac{1}{T} \int_0^T (1 - k_1 t) dt = 1 - \frac{k_1 T}{2}, \quad (2)$$

где k_0 – КРБП растений при отсутствии отказов при выполнении операции;

t – время с начала операции;

k_1 – коэффициент пропорциональности в линейной зависимости уменьшения КРБП растений во времени, 1/с.

Принимая интенсивность отказов и восстановлений постоянными, определим граничную суммарную продолжительность восстановлений

$$\tau_{\text{гр}} = 2\Delta k_{\text{гр}} / k_1. \quad (3)$$

Изложение основного материала. Как и при исследовании надежности систем с использованием метода марковских случайных процессов, примем, что продолжительность восстановлений подчинена показательному закону. Учтем, что плотность вероятности суммы случайных величин, распределенных по показательному закону, имеет гамма-распределение и определим вероятность того, что потери продукции вследствие отказов машины превзойдут граничное значение

$$p_k = 1 - F_{\Gamma}(\tau_{\text{гр}}, k, \mu); \quad (4)$$

$$P_{\text{пр}}(\Delta k_{\text{гр}}) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{-\lambda T} (1 - F_{\Gamma}(\tau_{\text{гр}}(\Delta k_{\text{гр}}), k, \mu)) \right], \quad (5)$$

где F_{Γ} – гамма-функция;

μ – интенсивность восстановлений, 1/с.

При применении (5) необходимо учитывать конечное количество отказов. Ставя в соответствие слагаемым в (5) заведомо большие элементы бесконечной геометрической прогрессии, получим уравнение для определения количества отказов n , которые необходимо учитывать для того, чтобы погрешность вычисления по формуле (5) не превзошла ΔP

$$\Delta P < e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^{n+1}}{(n+1)!} \cdot \frac{1}{1 - (\lambda t)/(n+2)}. \quad (6)$$

Определим вероятность события, альтернативного (5)

$$P_{\text{нпр}}(\Delta k_{\text{гр}}) = 1 - P_{\text{пр}}(\Delta k_{\text{гр}}), \quad (7)$$

где $P_{\text{нпр}}$ – вероятность того, что потери продукции (уменьшение КРБП растений) при выполнении технологической операции не превзойдут граничное значение.

Таким образом, (7) описывает функцию распределения потерь продукции (КРБП растений) при выполнении операции. Определим их плотность вероятности

$$f_{\text{n}}(\Delta k) = \frac{dP_{\text{нпр}}(\Delta k)}{d(\Delta k)}, \quad (8)$$

где f_{n} – плотность вероятности потерь КРБП растений при выполнении операции.

Определим математическое ожидание и дисперсию потерь продукции (КРБП растений) при выполнении операции

$$M(\Delta k) = \int_0^1 f_{\text{n}}(\Delta k) \cdot (\Delta k) \cdot d(\Delta k); \quad (9)$$

$$D(\Delta k) = \int_0^1 (\Delta k - M(\Delta k))^2 f_{\text{n}}(\Delta k) d(\Delta k). \quad (10)$$

Перейдем от потерь к вероятностным характеристикам получения продукции

$$k = k_0 - \Delta k, \quad (11)$$

где k – КРБП растений в условиях отказов;

Δk – потеря продукции.

Определим математическое ожидание и дисперсию КРБП растений при выполнении операции с учетом (11):

$$M(k) = k_0 - M(\Delta k); \quad (12)$$

$$D(k) = D(\Delta k). \quad (13)$$

Исследуем влияние случайных отказов при выполнении отдельных операций технологического процесса по его результатам. Для этого воспользуемся

мультипликативной формой представления зависимости КРБП растений по результатам технологического процесса от соответствующих коэффициентов при выполнении операций. При этом будем учитывать только коэффициенты, зависящие от продолжительности технологических операций:

$$k_{\text{ТП}} = \prod_{i=1}^{N_{\text{от}}} k_i, \quad (14)$$

где $k_{\text{ТП}}$ – КРБП растений по результатам технологического процесса;
 i – номер технологической операции;
 $N_{\text{от}}$ – количество операций в технологическом процессе;
 k_i – КРБП растений при выполнении i -й технологической операции, зависящий от ее продолжительности.

Логарифмируя (14), получим:

$$\ln k_{\text{ТП}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{от}}} \ln k_i. \quad (15)$$

Таким образом, логарифм КРБП растений по результатам технологического процесса (8) является суммой многих случайных величин. Рассмотрим типичную в растениеводстве ситуацию, когда задержки при выполнении любой технологической операции не приводят к задержке начала следующей операции. Тогда логарифмы КРБП растений при выполнении отдельных операций независимы. Это позволяет рассматривать случайную величину (15) как распределенную по нормальному закону. Следовательно, КРБП растений по результатам технологического процесса распределен по логарифмически нормальному закону.

Определив математическое ожидание и дисперсию КРБП растений для отдельных технологических операций (9), (10), вычислим соответствующие моменты для КРБП по результатам технологического процесса, используя теоремы о числовых характеристиках произведения случайных величин, а также определим коэффициент вариации КРБП растений:

$$M(k_{\text{ТП}}) = \prod_{i=1}^{N_{\text{от}}} M(k_i); \quad (16)$$

$$D(k_{\text{ТП}}) = \prod_{i=1}^{N_{\text{от}}} (D(k_i) + M^2(k_i)) - \prod_{i=1}^{N_{\text{от}}} M^2(k_i); \quad (17)$$

$$v_{\text{ТП}}^2 = \frac{D(k_{\text{ТП}})}{M^2(k_{\text{ТП}})} = \prod_{i=1}^{N_{\text{от}}} (v^2(k_i) + 1) - 1, \quad (18)$$

где $v_{\text{ТП}}$ – коэффициент вариации КРБП растений по результатам технологического процесса.

Из (18) следует, что $v_{\text{ТП}}$ превосходит наибольший из коэффициентов вариации для технологических операций, что подтверждает целесообразность анализа пригодности комплекса машин для решения производственной задачи на основе определения вероятности её выполнения.

На следующем этапе определим вероятность того, что выпуск продукции (КРБП

растений) по результатам технологического процесса окажется не меньшим, чем заданное допустимое значение (т. е. вероятность невыполнения технологического процесса)

$$p_{\text{ТП}} = 1 - F_{\text{ЛН}}(M(k_{\text{ТП}}), D(k_{\text{ТП}}), k_{\text{min}}), \quad (19)$$

где $p_{\text{ТП}}$ – вероятность того, что КРБП растений по результатам технологического процесса окажется не меньшим, чем допустимое значение;

$F_{\text{ЛН}}$ – функция логарифмически нормального распределения;

k_{min} – минимально-допустимое значение КРБП растений по результатам технологического процесса.

Таким образом, (19) позволяет вычислить вероятность выполнения производственного задания в условиях отказов машин технологического комплекса. Если эта вероятность превышает заданное пороговое значение, то комплекс машин соответствует производственному заданию.

Выводы. На основе учета влияния отказов машин на потери продукции разработана новая методика определения соответствия технологических комплексов машин производственному заданию. Решение принимается по результатам вычисления вероятности того, что выпуск продукции будет большим, чем минимально-допустимое значение, и сравнения этой вероятности с пороговым значением.

Разработанная методика может использоваться в растениеводстве и других отраслях, где простои машин приводят к потерям продукции или уменьшению другого полезного эффекта. Результаты вероятностных расчетов по этой методике могут использоваться при совершенствовании систем технического обслуживания машин (в частности – при переходе к обслуживанию по техническому состоянию). Ограничением данной методики является выполнение каждой операции единственной машиной.

Список литературы

1. Максименко, А. Н. Диагностика строительных, дорожных и подъемнотранспортных машин : учеб. пособие [Текст] / А. Н. Максименко, Г. Л. Антипенко, Г. С. Лягушев. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2008. – 302 с.
2. Ширман, А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования [Текст] / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М., 1996. – 252 с.
3. Reliability-Centered Maintenance (RCM) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities. Technical Manual 5-698-2. - Washington, DC: Headquarters Department of the Army, 2006. – 96 p..
4. Александровская, Л. Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем [Текст] / Л. Н. Александровская, А. П. Афанасьев, А. А. Лисов. – М.: Логос, 2001. – 208 с.
5. Матвеевский, В. Р. Надежность технических систем / В. Р. Матвеевский. – М.: МГИЭМ, 2002. – 113 с.
6. ReliaSoft Corp. Economical Life Model for Repairable Systems / Reliability HotWire. – 2006. – № 6.
7. Костерев, В. В. Надежность технических систем и управление риском / В. В. Костерев. – М.: МИФИ, 2008. – 280 с.
8. Безотказность и надежность технологических комплексов [Текст] / В. Я. Анилович [и др.] // Вестн. ХГТУСХ. Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. – 1996. – С. 20-25.
9. Пастухов, В. І. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11 / В. І. Пастухов ; ХНТУСГ. – Харків, 2006. – 38 с.
10. Грачев, Р. Ю. Повышение эффективности эксплуатации машин технологического комплекса методом частичного резервирования (на примере культуртехнических работ) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Р. Ю. Грачев ; Моск. гос. ун-т природообустройства. – Москва, 2007. – 18 с.
11. Надежность и эффективность в технике : справочник : в 10 т. / ред. совет : В. С. Авдудевский (пред.) [и др.] ; под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – М. : Машиностроение, 1988. – Т. 3. Эффективность технических систем. - 328 с.
12. Надійність сільськогосподарської техніки : підручник [Текст] / М. І. Чорновола [та ін.] ; за заг. редакцією М. І. Чорновола. – Кіровоград : КОД, 2010. – 320 с.

13. Hacker L. Limitations of the Exponential Distribution for Reliability Analysis / Reliability Edge. – 2001. – № 3. – P. 1-3.

Andrey Nevzorov, Assos. Prof., PhD tech. sci., Yuri Kovalchuk, Assos. Prof., PhD tech. sci., Vladimir Didur, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Effects of reliability for the probability of agricultural machinery performance process

When performing many works downtime due to machine failure lead to irretrievable loss of the products or reduction in other benefits. For example, agricultural failures lead to lost production because the yield of crops depends on the timing of technological operations. Purpose of the article - to determine the probability of unacceptable loss of production due to machine failure in the performance of technological operations (for example, processes of crop).

Since the reliability and performance of machines increases, the time between when the machine operation is often less than or comparable to the MTBF. In this case, even a single complex failures may significantly increase the duration of work and lead to an unacceptable loss of production (in this case, the production task is failed). Therefore, taking into account the recommendations [11], should also determine the probability of the job (the probability that the loss does not exceed the permissible value). On the basis of the account of influence of failures of cars on the loss of production we have developed a new method of determining the appropriate technological complexes machinery manufacturing orders. The decision is made based on the results of calculating the likelihood that output will be greater than the minimum allowable value, and comparing this with a threshold probability.

The developed method can be used in crop production and other industries where machine downtime resulting in the loss of production or reduce other benefits. The results of probabilistic calculations by this method can be used to improve the systems of maintenance of machinery (in particular - during the transition to on-condition maintenance). A limitation of this method is to perform each operation only machine.

farm equipment, processes, failures, the probability of failure-free operation

Получено 05.11.15

УДК 621.791

С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук, О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук, О.В. Дмитренко, магістр

Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна, markob0@mail.ru

Розробка комплексу обладнання для відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарських машин класу «круглий стрижень» з застосуванням комбінованої технології

В статті розроблено комплекс обладнання для відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарських машин класу «круглий стрижень» з застосуванням комбінованої технології. Розроблено конструкцію вертикальної камери, електродугового розпилювача з незалежним приводом електродних дрітків та оптимальною формою направляючих, механізм приводу подачі мікроплазмотрона зі схемою теристорного управління.

електродугове напилення, мікроплазмова обробка, покриття, привід