

Шевченко С.А.

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка. e-mail: Serg.Shevchen@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
ГОТОВНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ПЛАНОВЫХ ПАУЗ В РАБОТЕ ДЛЯ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАШИНЫ

УДК 631.3:62-192

Получены зависимости доли времени восстановления машины, которая приходится на рабочую смену, в зависимости от закона распределения времени восстановления, длительности рабочей смены и длительности паузы. Это позволяет определять коэффициент готовности в зависимости от указанных факторов и наработки между отказами. Приведены результаты моделирования при распределения времени восстановления по показательному закону и закону Вейбулла.

Ключевые слова: надежность, коэффициент готовности, машина, требуемое время, пауза, отказ, время восстановления, наработка между отказами.

Постановка проблемы. Особенностью технологических операций растениеводства является зависимость их качества от времени выполнения [1-3]. Часть технологических операций растениеводства имеют ограничения по времени выполнения на протяжении суток, обусловленные агрометеорологическими требованиями [4]. Паузы в работе также могут быть обусловлены техническими параметрами машин, ограничивающими выполнение работ в темное время суток, а также организационными причинами.

Для определения коэффициента готовности по результатам испытаний используют формулу [5]:

$$K_G = \frac{T_P}{T_P + T_B}, \quad (1)$$

где K_G – коэффициент готовности;

T_P – средняя наработка между отказами;

T_B – среднее время восстановления.

Обратим внимание на то, что в этой формуле учитывается возможность пребывания машины лишь в двух состояниях – работоспособном и неработоспособном, тогда как в [6] имеется также понятие требуемого времени – времени, в течение которого потребитель требует, чтобы изделие находилось в работоспособном состоянии. Таким образом, формула (1) применима к машинам, восстановление которых начинается немедленно после возникновения отказа, а по завершении восстановления – немедленно возобновляется работа. Формула (1) применима также к машинам, которые эксплуатируются с плановыми паузами, во время которых и работа машины, и ее восстановление приостанавливаются.

Если простои машин приводят к существенным издержкам, то целесообразно рассмотреть возможность выполнения работ по восстановлению машин и во время плановых пауз в выполнении технологических операций. Для принятия обоснованного решения следует определить влияние показателей безотказности и ремонтпригодности на коэффициент готовности машины, работа которых осуществляется периодически (с плановыми паузами), а восстановление начинается немедленно после отказа и продолжается до его устранения.

Анализ исследований и публикаций. Преимущественно, при исследовании процесса отказа и восстановления машины учитываются только два возможных состояния –

машина либо исправна и работает, либо машина неисправна и осуществляется ее восстановление [7–9].

В [10] возможные состояния машины в процессе эксплуатации подразделяются в зависимости от периода времени (рабочее и нерабочее), от работоспособности (работоспособное и неработоспособное), от выполнения работы (эксплуатируется или не эксплуатируется), вида простоя (плановый или неплановый).

В [11, 12] содержится обзор работ, направленных на совершенствование методик определения коэффициента готовности и коэффициента технического использования, которые состоят в учете средней доли машин, не готовых и не планируемых к использованию [13]; учете организационных резервов при ремонте машин [14]; учете использования машины по назначению [15].

На основе анализа состояний машин в процессе эксплуатации [10] в [16] предложены, в частности, такие показатели использования машин, как коэффициент простоев и неплановых технических обслуживаний и ремонтов (ТОиР) машин в рабочее время, коэффициент простоев и неплановых ТОиР машин в нерабочее время. Коэффициент готовности предложено определять по формуле [16]:

$$K_G(t) = \frac{T_{PP}(t)}{T_{PP}(t) + T_{РНН}(t)}, \quad (2)$$

где t – время, час;

T_{PP} – период времени, соответствующий пребыванию в работоспособном состоянии в рабочее время;

$T_{РНН}$ – период времени, соответствующий пребыванию в неплановом простое в неработоспособном состоянии в рабочее время.

Паузы в выполнении технологических операций растениеводства могут быть также обусловлены погодными факторами [4]. В работе [17] определена максимальная продолжительность работ по техническому обслуживанию и ремонту в зависимости от погодных условий. В [18] предложена методика определения влияния изменчивости погодных условий на эквивалентный коэффициент готовности и коэффициент технического использования машин (с учетом восстановления машин в паузах технологической операции, обусловленных погодой). Обратим внимание на то, что процесс чередования требуемого времени и пауз, обусловленных внешними факторами, в [18] рассматривается как стохастический процесс (а именно, как марковский процесс), что ограничивает применимость полученных результатов к технологическим операциям, выполняющимся периодически.

Таким образом, нерешенной частью проблемы является аналитическое определение коэффициента готовности машины, плановые паузы в работе которой используются для ее восстановления после отказов, на основании данных о надежности и ремонтпригодности машины.

Цель исследования – определение зависимости коэффициента готовности машины, плановые паузы в работе которой используются для ее восстановления, от показателей безотказности и ремонтпригодности, а также от длительностей элементов производственного цикла (времени рабочей смены и плановой паузы).

Модель изменения состояния машины. Исследование выполняем, исходя из следующих ограничений и допущений:

– производственный цикл рассматриваем как состоящий из двух частей: рабочей смены и плановой паузы, причем вся продолжительность рабочей смены является требуемым временем;

- длительности рабочей смены и плановой паузы неизменны;
- затраты времени на проведение технического обслуживания не учитываются;
- каждый отказ приводит к остановке работы машины (резервирование не применяется);
- в плановых паузах отказ машины не возникает.

Выберем перечень рассматриваемых состояний машины: машина работоспособна и работает; машина работоспособна, но не работает (плановая пауза); машина неработоспособна в рабочее время, осуществляется ее восстановление; машина неработоспособна во время плановой паузы, осуществляется ее восстановление.

Таким образом, если плановые паузы в работе машины используются для её восстановления, то количество возможных состояний машины, по сравнению с учитываемым при определении коэффициента готовности машин (1), возрастает с двух до четырех. Это количество состояний и граф переходов между ними совпадают с примененными в [18] при исследовании влияния погодных факторов на комплексные показатели надежности машин.

Процесс смены указанных состояний при наличии плановых пауз в работе и их использовании для восстановления после отказов объединяет в себе элементы и детерминированного, и стохастического процессов. В связи с этим целесообразно получать искомые зависимости аналитически с помощью методов теории вероятности, а затем осуществлять численное моделирование.

Определение коэффициента готовности машины. Как показано в [16], при определении коэффициента готовности периодически используемых машин (2) необходимо учитывать только время, соответствующее пребыванию в неплановом простое в неработоспособном состоянии в рабочее время. Его непосредственное аналитическое определение затруднено вследствие зависимости и от случайного времени восстановления, и от параметров производственного цикла. Поэтому предлагается определять искомую часть времени восстановления, приходящуюся на рабочее время, как некоторую долю от среднего времени восстановления. Указанную долю времени будем характеризовать соответствующим коэффициентом, что позволяет преобразовать формулу (2) к следующему виду:

$$K_G = \frac{T_P}{T_P + k T_B} , \quad (3)$$

где k – доля среднего времени восстановления, которая приходится на рабочее время.

Таким образом, определив влияние параметров производственного цикла и показателей ремонтпригодности на долю среднего времени восстановления, которая приходится на рабочее время, можно определить их влияние на коэффициент готовности машины (3).

Определение доли времени восстановления машины, приходящейся на рабочее время. Для определения среднего времени восстановления используют формулу [5]:

$$T_B = \int_0^{\infty} \tau f(\tau) d\tau , \quad (4)$$

где τ – время восстановления, час;

f – плотность вероятности времени восстановления, 1/час.

Преобразуем (4) в бесконечный ряд, элементы которого соответствуют производственным циклам, каждый из которых, в свою очередь, состоит из рабочей смены и паузы.

Исходя из принятых ограничений и допущений, отказ машины может произойти только во время рабочей смены, через некоторое время после ее начала. Поэтому нумерацию смен начнем со смены, на которой произошел отказ машины; нумерацию пауз – с паузы, следующей за этой сменой, а нумерацию производственных циклов – с цикла, во время которого произошел отказ; Таким образом, восстановление машины может завершиться в пределах первой же смены, либо в пределах первой паузы и т.д.

Представим интеграл в (4) как сумму интегралов, первый из которых соответствует восстановлению в пределах первой смены, второй – восстановлению в пределах первой паузы и т.д. Таким образом, первые два интеграла в (5) относятся к первому циклу, состоящему из первой смены и первой паузы и т.д.

$$T_B = \left(\int_0^{\tau_{C1}(S)} \tau f(\tau) d\tau + \int_{\tau_{C1}(S)}^{\tau_{П1}(S)} \tau f(\tau) d\tau \right) + \sum_{i=2}^{\infty} \left(\int_{\tau_{Пi-1}(S)}^{\tau_{Ci}(S)} \tau f(\tau) d\tau + \int_{\tau_{Ci}(S)}^{\tau_{Pi}(S)} \tau f(\tau) d\tau \right), \quad (5)$$

где τ_{C1} – длительность восстановления на момент окончания первой смены, час;

S – длительность интервала времени от начала смены до момента отказа, час;

$\tau_{П1}$ – длительность восстановления на момент окончания первой паузы, час;

i – номер производственного цикла;

τ_{Ci} – длительность восстановления на момент окончания i -й смены;

τ_{Pi} – длительность восстановления на момент окончания i -й паузы, час.

Временная диаграмма, на которой показано чередование рабочих смен и плановых пауз, приведена на рис. 1.

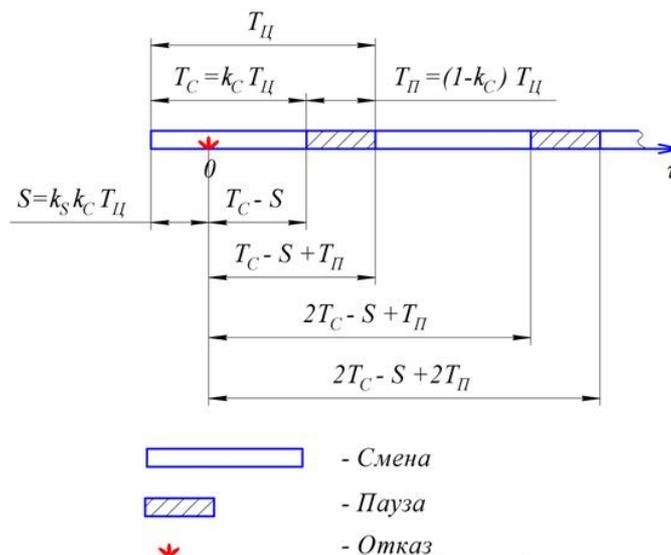


Рис. 1.– Временная диаграмма работы машины

Далее определим взаимосвязь между временем восстановления машины и частью этого времени, приходящейся на рабочие смены. Для этого определим длительности работ по восстановлению (начиная от момента отказа), соответствующие началам и окончаниям смен и пауз, полагая, что отказ произошел через некоторое время после начала смены:

$$\tau_{Ci}(S) = iT_C - S + (i-1)T_{П}, \quad (6)$$

$$\tau_{Pi}(S) = iT_C - S + iT_{П}, \quad (7)$$

где T_C – длительность смены, час; $T_{П}$ – длительность паузы, час.

Преобразуем (5) с учетом (6, 7):

$$T_B = \left(\int_0^{T_C-S} \tau f(\tau) d\tau + \int_{T_C-S}^{T_C-S+T_{II}} \tau f(\tau) d\tau \right) + \sum_{i=2}^{\infty} \left(\int_{(i-1)T_C-S+(i-1)T_{II}}^{iT_C-S+(i-1)T_{II}} \tau f(\tau) d\tau + \int_{iT_C-S+(i-1)T_{II}}^{iT_C-S+iT_{II}} \tau f(\tau) d\tau \right), \quad (8)$$

Для определения части среднего времени восстановления, которая приходится на рабочее время, преобразуем (8):

$$\tau^*(S) = \left(\int_0^{T_C-S} \tau f(\tau) d\tau + \int_{T_C-S}^{T_C-S+T_{II}} \tau_{II1}^* f(\tau) d\tau \right) + \sum_{i=2}^{\infty} \left(\int_{(i-1)T_C-S+(i-1)T_{II}}^{iT_C-S+(i-1)T_{II}} \tau_{Ci}^* f(\tau) d\tau + \int_{iT_C-S+(i-1)T_{II}}^{iT_C-S+iT_{II}} \tau_{IIi}^* f(\tau) d\tau \right), \quad (9)$$

где τ^* – часть среднего времени восстановления, приходящаяся на рабочее время, час;
 τ_{II1}^* – часть времени восстановления, приходящаяся на рабочее время, при условии, что восстановление завершено во время первой паузы, час;
 τ_{Ci}^* – часть времени восстановления, приходящаяся на рабочее время, при условии, что восстановление завершено во время i -й смены, час;
 τ_{IIi}^* – часть времени восстановления, приходящаяся на рабочее время, при условии, что восстановление завершено во время i -й паузы, час.

При этом учтем следующее. Если восстановление завершается во время смены, то потери рабочего времени определим как время восстановления за вычетом всех пауз:

$$\tau_{Ci}^* = \tau - (i-1)T_{II} . \quad (10)$$

Если же восстановление завершается во время паузы, то учитываем количество смен, во время которых восстанавливали машину, и длительность интервала времени от начала смены до момента отказа:

$$\tau_{IIi}^* = iT_C - S . \quad (11)$$

Преобразуем (9) с учетом (10, 11):

$$\begin{aligned} \tau^*(S) = & \left(\int_0^{T_C-S} \tau f(\tau) d\tau + \int_{T_C-S}^{T_C-S+T_{II}} (T_C - S) f(\tau) d\tau \right) + \\ & + \sum_{i=2}^{\infty} \left(\int_{(i-1)T_C-S+(i-1)T_{II}}^{iT_C-S+(i-1)T_{II}} (\tau - (i-1)T_{II}) f(\tau) d\tau + \int_{iT_C-S+(i-1)T_{II}}^{iT_C-S+iT_{II}} (iT_C - S) f(\tau) d\tau \right), \end{aligned} \quad (12)$$

Обратим внимание на то, что пределы интегрирования в () содержат и длительности смен, и длительности пауз. Упростим (12), рассматривая сумму продолжительностей смены и паузы как длительность производственного цикла:

$$T_{II} = T_C + T_{II} , \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \tau^*(S) = & \left(\int_0^{T_C-S} \tau f(\tau) d\tau + \int_{T_C-S}^{T_{II}-S} (T_C - S) f(\tau) d\tau \right) + \\ & + \sum_{i=2}^{\infty} \left(\int_{(i-1)T_{II}-S}^{T_C-S+(i-1)T_{II}} (\tau - (i-1)T_{II}) f(\tau) d\tau + \int_{T_C-S+(i-1)T_{II}}^{iT_{II}-S} (iT_C - S) f(\tau) d\tau \right), \end{aligned} \quad (14)$$

где T_{II} – длительность производственного цикла, час.

Перейдем в (14) от абсолютных значений продолжительностей смены и паузы к их относительным длительностям, выраженным как доли длительности производственного цикла.

$$T_C = k_C T_{Ц} , \tag{15}$$

$$T_{II} = (1 - k_C) T_{Ц} , \tag{16}$$

где k_C – доля смены в производственном цикле.

Интервал времени от момента начала смены до возникновения отказа также выразим через долю времени смены:

$$S = T_C k_S , \tag{17}$$

где k_S – доля смены, соответствующая моменту отказа машины.

Преобразуя (17) с учетом (15, 16), получим:

$$S = k_C T_{Ц} k_S . \tag{18}$$

Преобразуем (14) с учетом (18). Для последующего перехода к относительным длительностям восстановления, вынесем длительность производственного цикла в (18) за знак интегрирования:

$$\begin{aligned} \frac{\tau^*(k_S)}{T_{Ц}} = & \left(\int_0^{(1-k_S)k_C T_{Ц}} (\tau / T_{Ц}) f(\tau) d\tau + \int_{(1-k_S)k_C T_{Ц}}^{(1-k_C k_S) T_{Ц}} (1 - k_S) k_C f(\tau) d\tau \right) + \\ & + \sum_{i=2}^{\infty} \left(\int_{(i-1-k_C k_S) T_{Ц}}^{(k_C - k_C k_S + i-1) T_{Ц}} (\tau / T_{Ц} - (i-1)(1 - k_C)) f(\tau) d\tau + \int_{(k_C - k_C k_S + i-1) T_{Ц}}^{(i - k_C k_S) T_{Ц}} (i - k_S) k_C f(\tau) d\tau \right) . \end{aligned} \tag{19}$$

Определим относительную длительность восстановления, нормируя ее к длительности производственного цикла, и плотность распределения относительной длительности восстановления:

$$\theta = \frac{\tau}{T_{Ц}} , \quad \theta^* = \frac{\tau^*}{T_{Ц}} , \tag{20, 21}$$

где θ – относительная длительность восстановления;

θ^* – доля относительной длительности восстановления, приходящаяся на рабочее время.

Выразим плотность распределения относительной длительности восстановления через плотность распределения времени восстановления и длительность производственного цикла, используя закон распределения функции от одного случайного аргумента:

$$f_{\theta}(\theta) = T_{Ц} f(\theta T_{Ц}) , \tag{22}$$

где f_{θ} – плотность распределения относительной длительности восстановления.

Заменим переменную интегрирования в (19), используя (20), и определим часть относительной длительности восстановления, приходящуюся на рабочее время:

$$\theta^*(k_C, k_S) = \frac{\tau^*(k_C, k_S)}{T_{Ц}} , \tag{23}$$

$$\theta^*(k_c, k_s) = \left(\int_0^{(1-k_s)k_c} \theta f_\theta(\theta) d\theta + \int_{(1-k_s)k_c}^{1-k_c k_s} (1-k_s)k_c f_\theta(\theta) d\theta \right) + \sum_{i=2}^{\infty} \left(\int_{i-1-k_c k_s}^{k_c - k_c k_s + i - 1} (\theta - (i-1)(1-k_c)) f_\theta(\theta) d\tau + \int_{k_c - k_c k_s + i - 1}^{i - k_c k_s} (i - k_s)k_c f_\theta(\theta) d\tau \right). \quad (24)$$

Среднюю часть относительной длительности восстановления, приходящуюся на рабочее время, определим, выполняя усреднение по возможным моментам отказа:

$$\mathbf{M}[\theta^*(k_c)] = \int_0^1 \theta^*(k_c, k_s) f_s(k_s) dk_s, \quad (25)$$

где f_s – плотность вероятности момента возникновения отказа.

Момент возникновения отказа примем равномерно распределенным на интервале времени смены. Тогда

$$f_s(k_s) = 1. \quad (26)$$

$$\mathbf{M}[\theta^*(k_c)] = \int_0^1 \theta^*(k_c, k_s) dk_s, \quad (27)$$

$$\mathbf{M}[\tau^*(k_c)] = T_{Ц} \mathbf{M}[\theta^*(k_c)], \quad (28)$$

$$m_\theta = \frac{T_B}{T_{Ц}}, \quad (29)$$

где m_θ – математическое ожидание относительной длительности восстановления;

Долю среднего времени восстановления, которая приходится на рабочее время, будем определять из соотношения:

$$k = \frac{\mathbf{M}[\tau^*]}{T_B}. \quad (30)$$

Преобразуем (30) с учетом (28):

$$k(k_c, m_\theta) = \frac{\mathbf{M}[\theta^*(k_c)]}{m_\theta}. \quad (31)$$

Формулы (27, 31) выражают взаимосвязь коэффициента готовности машины, работающей с плановыми паузами, закона распределения времени восстановления, среднего времени между отказами и относительной длительности смены.

Примеры численного моделирования. Определим численно зависимости части времени восстановления, приходящейся на рабочее время, от закона распределения длительности восстановления, длительности производственного цикла и длительности рабочей смены.

При исследовании надежности машин применяют различные аппроксимации времени восстановления. Простейшей и одной из наиболее часто используемых является аппроксимация времени восстановления показательным законом [5]. График полученной зависимости показан на рис. 2.

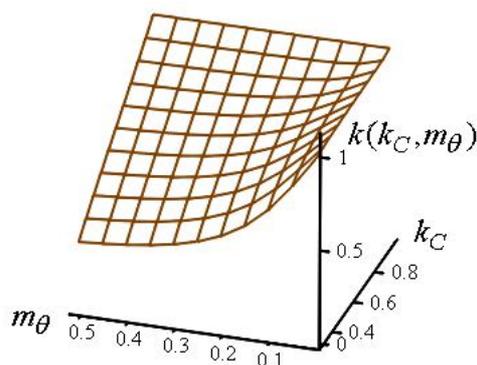


Рис. 2 – Зависимость доли среднего времени восстановления, которая приходится на рабочее время, от относительной длительности смены и средней относительной длительности восстановления (распределена по показательному закону)

Для аппроксимации распределения времени восстановления применяют также распределение Вейбулла [19]. Определим долю среднего времени восстановления, которая приходится на рабочее время. Графики полученных зависимостей показаны на рис.3.

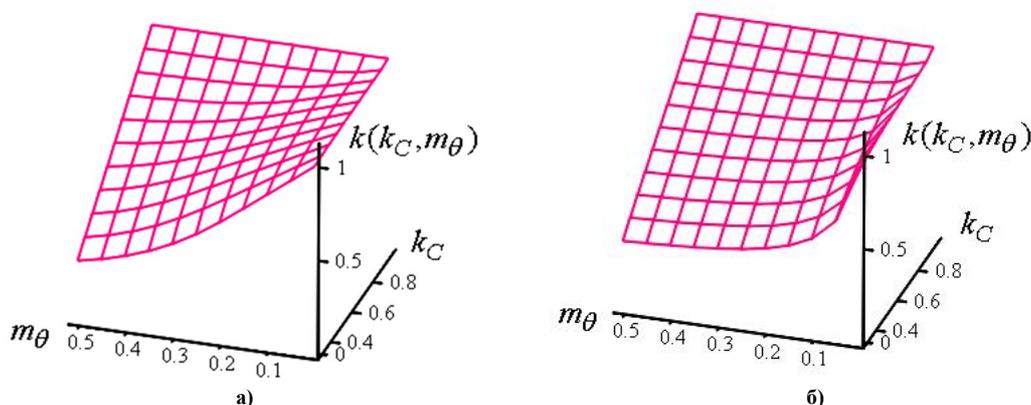


Рис. 3 – Зависимость доли среднего времени восстановления, которая приходится на рабочее время, от относительной длительности смены и средней относительной длительности восстановления (распределена по закону Вейбулла)

а) параметре формы равен 3,2; б) параметре формы равен 0,5

Из приведенных результатов моделирования следует, что при распределении времени восстановления по показательному закону, а также в при типичных значениях параметров формы распределений Вейбулла при $m_\theta > 0,5$ выполняется соотношение:

$$k(k_C, m_\theta) \approx k_C, \quad (32)$$

что может быть использовано при определении эффекта от восстановления машин во время плановых пауз в работе, когда технологическая операция не выполняется (например, по агрометеорологическим требованиям).

Таким образом, по известному закону распределения времени восстановления и относительной длительности смены можно определить часть среднего времени восстановления, приходящуюся на рабочее время. Это позволяет определить коэффициент готовности машины по формуле (). Используя методику [27], можно осуществлять прогнозирование коэффициента готовности машин, работающих с плановыми паузами.

Выводы.

1. Если работа машины осуществляется с плановыми паузами (которые используются для ее восстановления), то коэффициент готовности машины зависит от наработки

между отказами, времени восстановления и доли этого времени, которая приходится на рабочее время ().

2. При исследовании влияния времени восстановления, длительностей смен и пауз на долю среднего времени восстановления, которая приходится на рабочее время, целесообразно использовать их относительные длительности, нормированные к длительности производственного цикла (состоящего из рабочей смены и плановой паузы).

3. Доля среднего времени восстановления, которая приходится на рабочее время, пропорциональна относительной длительности смены и обратно пропорциональна средней относительной длительности восстановления ().

4. Выполненное численное моделирование влияния времени восстановления, длительностей смен и пауз на долю среднего времени восстановления, которая приходится на рабочее время, показало, что при средних длительностях восстановления, которые превышают 50% длительности производственного цикла, указанная доля может быть принята равной доле смены в производственном цикле.

Перспективным направлением дальнейших исследований является использование методики прогнозирования коэффициента готовности машин [20] для прогнозирования потерь урожая вследствие отказов машин, восстановление которых осуществляется во время плановых пауз (в частности, при представлении длительности восстановления в виде суммы двух случайных величин – логистической задержки и оперативной продолжительности ремонта).

Литература

1. Агрокваліметрія / Ковтун Ю. І., Мазоренко Д. І., Пастухов В. І., Джолос П. А. За ред. Мазоренка Д. І., Ковтуна Ю. І. – Харків: РВП "Оригінал", 2000. – 312 с.
2. Gunnarsson Carina. Timeliness Costs in Grain and Forage Production Systems: Doctoral Thesis / Carina Gunnarsson: Swedish University of Agricultural Sciences. – Uppsala, 2008. – 56 p.
3. 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. – Режим доступа: http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Motrol15_7/motrol_15_7_2013.pdf
4. Дубровін В. О. Техніко-економічне обґрунтування прогнозованої роботоздатності зернозбиральних комбайнів із врахуванням зміни терміну експлуатації / В. О. Дубровін, О. А. Демко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2010. – Вип. 144, – Ч. 4, – С. 29-39.
5. Сандлер Дж. Техника надежности систем (Серия: Теоретические основы технической кибернетики). Пер. с англ. – М.: Наука, 1966. – 300 с.
6. ГОСТ Р 27.002-2009 ИЕС 60050 (191):1990-12 (NEQ) Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
7. Omran Musa Abbas. Development of Predictive Markov-chain Condition – Based Tractor Failure Analysis Algorithm / Omran Musa Abbas, Hassan Ibrahim Mohammed and El Nougomi Abdelgadir Omer // Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. – 2011. – V. 7(1). – P. 52-67.
8. Войтов В. А. Оценка надежности машинно-тракторного парка в растениеводстве методом вероятностного анализа / В. А. Войтов, О. С. Беляева, П. Н. Климов // Вісник Харківського нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка. – 2009. – Вип. 80: Проблеми надійності машин та засобів механізації с.-г. виробництва. – С. 87–92.

9. Думенко К. Моделирование процесса обеспечения надежности зерноуборочного комбайна / К. Думенко, Е. Шевченко // MOTROL, Commission of Motorization and energetics in agriculture. – 2012. – Vol. 14, – No.2, – P. 51–56.
10. Прудовский Б. Д. Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям / Б. Д. Прудовский, В. Б. Ухарский. – М.: Транспорт, 1990. – 239 с.
11. Бураев М. К. К выбору критерия комплексной оценки системы агротехнического сервиса / М. К. Бураев // Научно-практический журнал “Вестник ИрГСХА”. – 2009. – Вып. 34. – С. 76–91.
12. Подшиваленко И. Л. Обоснование критериев технического состояния сельскохозяйственной техники / И. Л. Подшиваленко, С. В. Курзенков, В. А. Гайдук, В. К. Клыбик, В. М. Кузюр // Научный журнал «Вестник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Брянская государственная сельскохозяйственная академия». – 2014. – № 3. – С. 56–58.
13. Юдин М. И. Технический сервис машин и основы проектирования предприятий / М. И. Юдин, Н. И. Стукопин, О. Г. Ширай. – Краснодар: КГАУ, 2002, – 944 с.
14. Локшин Е. С. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Е. С. Локшин, А. В. Рубайлов, Ф. Ю. Керимов, В. Я. Дворковой. – М.: Издательский центр “Академия”, 2007. – 512 с.
15. Немцев А. Е. Обеспечение работоспособности мобильной сельскохозяйственной техники на основе резервирования обменного фонда: Автореф. дис. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.20.03 / А. Е. Немцев. – Новосибирск, 1998. – 44 с.
16. 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.
17. Сидорчук О. Теоретичні основи визначення технологічно допустимої тривалості виконання обслуговочно-ремонтних робіт / О. Сидорчук, В. Войтюк // Техніка і технології АПК. – 2011. – №12. – С. 25–27.
18. Шевченко С. А. Оцінка ефективності використання часу при виконанні технологічних операцій рослинництва / С. А. Шевченко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ. – 2009. – Випуск 13 (27). – Книга 2. – С. 84-88
19. Кухтов В. Г.. К вопросу о классификации отказов сельскохозяйственной техники / В. Г. Кухтов, А. С. Гринченко, В. В. Погорілий, А. В. Рябушенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2010. Вип. 100: Проблеми надійності машин та засобів механізації с.-г. виробництва. – С. 63-72.
20. Шевченко С. А. Прогнозирование коэффициента готовности машин растениеводства / С. А. Шевченко // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2015. – №3. – С. 94–102.

Summary

Shevchenko S.A. Determining of machine availability when taking the scheduled

breaks during the recovery work

Subject of research is a machine, which periodically operates. The operating cycle consists of the working shift and scheduled break. The repair of machine is performed immediately after the failure and continued to its recovery (the repair is carried out during the scheduled breaks). Article objective consists in the determination of dependence between the machine availability, operating time between failures, time to machine recovery and the duration of working shift and scheduled break.

The processes of machine operation and recovery feature either deterministic or stochastic components. The dependence of the machine availability on the operating time between failures, time to recovery and fractions of time to machine recovery, which are accounted for the working shift, is determined.

In addition, the dependences of the fractions of time to machine recovery (accounted for the working shift) on the distributive law of time to recovery, duration of working shift and scheduled break are defined. This enables to determine the availability in accordance with the indicated factors and operating time between failures.

The numerical simulation of impact of the time to recovery and the duration of shifts and breaks on the fraction of average time to recovery, which is accounted for the working shift, is carried out. Simulation data with the time to recovery distributed in accordance with the exponential rule and Weibull law are presented. If the average time to machine recovery exceeds 50% of the operating cycle duration, the indicated fraction may be equated with the fraction of shift in the operating cycle.

Key words: *reliability, availability, machine, required time, break, failure, time to recovery, operating time between failures.*

References

1. Agrokvalimetrija / Kovtun Ju. I., Mazorenko D. I., Pastuhov V. I., Dzholos P. A. Za red. Mazorenka D. I., Kovtuna Ju. I. – Harkiv: RVP "Oryginal", 2000. – 312 s.
2. Gunnarsson Carina. Timeliness Costs in Grain and Forage Production Systems: Doctoral Thesis / Carina Gunnarsson: Swedish University of Agricultural Sciences. – Uppsala, 2008. – 56 p.
3. Shevchenko S. Issledovanie vlijanija dlitel'nosti vosstanovlenija mashiny na poteri produkcii rastenievodstva / С. ШЕВЧЕНКО // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15. – №7. – P. 40-44. http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Motrol15_7/motrol_15_7_2013.pdf
4. Dubrovin V. O. Tehniko-ekonomichne obg'runtuvannja prognozovanoi' robozdatnosti zernozbyral'nyh kombajniv iz vrahuvannjam zminy terminu ekspluatacii' / V. O. Dubrovin, O. A. Demko // Naukovyj visnyk Nacional'nogo universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannja Ukrai'ny. – 2010. – Vyp.144, – Ch.4, – S. 29-39.
5. Sandler Dzh. Tehnika nadezhnosti sistem (Serija: Teoreticheskie osnovy tehnichejskoj kibernetiki). Per. s angl. – M.: Nauka, 1966. – 300 s.
6. GOST R 27.002-2009 IEC 60050 (191):1990-12 (NEQ) Nadezhnost' v tehnike. Osnovnyje ponjatija. Terminy i opredelenija.
7. Omran Musa Abbas. Development of Predictive Markov-chain Condition – Based Tractor Failure Analysis Algorithm / Omran Musa Abbas, Hassan Ibrahim Mohammed and El Nougomi Abdelgadir Omer // Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. – 2011. – V. 7(1). – P. 52-67.
8. Vojtov V. A. Ocenka nadezhnosti mashinno-traktornogo parka v rastenievodstve metodom verojatnostnogo analiza / V. A. Vojtov, O. S. Beljaeva, P. N. Klimov // Visnyk

- Harkivs'kogo nac. tehn. un-tu sil. gosp-va im. P. Vasylenka. – 2009. – Vyp. 80: Problemy nadijnosti mashyn ta zasobiv mehanizacii' s.-g. vyrobnyctva. – S. 87–92.
9. Dumenko K. Modelirovanie processa obespechenija nadezhnosti zernouborochnogo kombajna / K. Dumenko, E. Shevchenko // MOTROL, Commission of Motorization and energetics in agriculture. – 2012. – Vol. 14, – No.2, – P. 51–56.
 10. Prudovskij B. D. Upravlenie tehniceskoy jekspluataciej avtomobilej po normativnym pokazateljam / B. D. Prudovskij, V. B. Uharskij. – M.: Transport, 1990. – 239 s.
 11. Buraev M. K. K vyboru kriterija kompleksnoj ocenki sistemy agrotehniceskogo servisa / M. K. Buraev // Nauchno-prakticheskij zhurnal “Vestnik IrGSHA”. – 2009. – Vyp. 34. – S. 76–91.
 12. Podshivalenko I. L. Obosnovanie kriteriev tehniceskogo sostojanija sel'skohozjajstvennoj tehniki / I. L. Podshivalenko, S. V. Kurzenkov, V. A. Gajduk, V. K. Klybik, V. M. Kuzjur // Nauchnyj zhurnal «Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo bjudzhetnogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija «Brjanskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademiya». – 2014. – № 3. – S. 56–58.
 13. Judin M. I. Tehniceskij servis mashin i osnovy proektirovanija predpriyatij / M. I. Judin, N. I. Stukopin, O. G. Shiraj. – Krasnodar: KGAU, 2002, – 944 s.
 14. Lokshin E. S. Jekspluacija podzemno-transportnyh, stroitel'nyh i dorozhnyh mashin: uchebnik dlja stud. vyssh. ucheb. zavedenij / E. S. Lokshin, A. V. Rubajlov, F. Ju. Kerimov, V. Ja. Dvorkovoj. – M.: Izdatel'skij centr “Akademija”, 2007. – 512 s.
 15. Nemcev A. E. Obespechenie raboto-sposobnosti mobil'noj sel'skohozjajstvennoj tehniki na osnove rezervirovanija obmennogo fonda: Avtoref. dis. na soiskanie nauch. stepeni d-ra tehn. nauk: spec. 05.20.03 / A. E. Nemcev. – Novosibirsk, 1998. – 44 s.
 16. Repin S. V. Metodologija sovershenstvovanija sistemy tehniceskoy jekspluacii stroitel'nyh mashin: avtoref. dis. na soiskanie nauch. stepeni dokt. tehn. nauk: spec. 05.05.04 "Dorozhnye, stroitel'nye i podzemno-transportnye mashiny" / S. V. Repin : Sankt-Peterburgskij gos. arhitekturno-stroitel'nyj universitet. – S.-Pb., 2008. – 46 s.
 17. Sydorčuk O. Teoretyčni osnovy vyznachennja tehnologichno dopustymoї tryvalosti vykonannja obslugovcho-remontnyh robit / O. Sydorčuk, V. Vojtjuk // Tehnika i tehnologii' APK. – 2011. – №12. – S. 25–27.
 18. Shevchenko S. A. Ocinka efektyvnosti vykorystannja chasu pry vykonanni tehnologichnyh operacij roslynnyctva / S. A. Shevchenko // Tehniko-tehnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannja novoi' tehniki i tehnologij dlja sil's'kogo gospodarstva Ukraїny. -Doslidnyc'ke: UkrNDIPVT. – 2009. – Vypusk 13 (27). – Knyga 2. - S. 84-88.
 19. Kuhtov V. G.. K voprosu o klassifikacii otkazov sel'skohozjajstvennoj tehniki / V. G. Kuhtov, A. S. Grinchenko, V. V. Pogorilij, A. V Rjabushenko // Visnyk Harkivs'kogo nacional'nogo tehnicnogo universytetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasylenka.– 2010. Vyp. 100: Problemy nadijnosti mashyn ta zasobiv mehanizacii' s.-g. vyrobnyctva. – S. 63-72.
 20. Shevchenko S. A. Prognozirovanie koeficienta gotovnosti mashin rastenievodstva / S. A. Shevchenko // Tehnicnyj servis agropromyslovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv. – 2015. – №3. – C. 94–102.