

Abstract. The methodology of studying the flows of requirements for the maintenance of technical systems is given, the analysis of the flows of requirements for the maintenance of some technical systems is performed. The obtained characteristics of the failure flow of forage harvesters can be used to justify the composition of the repair service, the production capacity of the repair and maintenance base and the rationing of the need for spare hours.

УДК 629.017:621.03

Щурин К.В., доктор технических наук, профессор;

Шаромето Д.Б., магистрант

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

ПЛАНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ КЛИМАТА

***Аннотация.** Рассмотрены результаты сравнительного анализа потенциала работоспособности мобильных машин при эксплуатации в различных климатических условиях. Предложен метод коррекции периодичности технических обслуживаний.*

Промышленность Республики Беларусь является экспортно-ориентированной, и для поддержания и повышения конкурентоспособности высокотехнологичной машиностроительной продукции, в первую очередь мобильных транспортно-технологических машин, требуется обеспечение их показателей надежности на всех стадиях жизненного цикла с учетом высокой вариабельности условий эксплуатации. Это требует анализа и учета основных эксплуатационных факторов, среди которых для конкретных зон поставок одним из основных является климатический фактор, и на этапе проектирования осуществлять необходимую корректировку периодичности технических обслуживаний с целью обеспечения высокого коэффициента технической готовности машин.

Закономерности, характеризующие повреждающие процессы в материалах деталей изделия и приводящие к изменению их начальных свойств, являются основой для расчета и прогнозирования показателей надежности. Основное значение для количественной оценки потери изделием работоспособности имеет изучение законов накопления повреждений, которые раскрывают физико-химическую сущность необратимых изменений, происходящих в материалах изделия.

Оценка степени поврежденности материала в функции времени, является основой для решения задач надежности. Они позволяют прогнозировать ход повреждающего процесса, оценивать возможные его реализации, выявлять наиболее существенные факторы, влияющие на интенсивность процесса; *на основе этих закономерностей назначается периодичность технических обслуживаний и ремонтов.*

Состояние машины, прежде всего, характеризуется её работоспособностью. Показатель, характеризующий возможную работоспособность машины в любой момент её эксплуатации, называется *потенциалом работоспособности* [1], и под этим понимают состояние машины в фиксированный момент времени, характеризующее возможную ее работоспособность, которая оценивается изменением суммарных затрат на производство и последующие ремонты. Общий потенциал работоспособности машины можно представить в виде следующих трех составных частей: активной, резервной и пассивной.

Активная часть потенциала P_a изменяется в процессе эксплуатации машины, поддерживается и восстанавливается в результате проведения технического обслуживания и текущего ремонта.

Резервная часть потенциала P_p необходима для предупреждения наступления предельного состояния машины при эксплуатации.

Пассивная часть потенциала P_n представляет собой незаменимую часть машины в течение срока службы и материализуется в виде конструкции, материала деталей и трудовых затрат на сборку, окраску и т.п. Пассивная часть потенциала изменяется при замене базовых узлов и агрегатов из-за разрушения или предупреждения возможного разрушения деталей при эксплуатации машины.

В результате действия большого количества детерминированных и случайных факторов процесс изменения и восстановления потенциала работоспособности носит случайный характер. Поэтому

му для множества «одинаковых» машин этот процесс в общем виде можно рассматривать как случайный процесс с перемешиванием его реализаций, и на рисунке 1 представлен его частный случай.

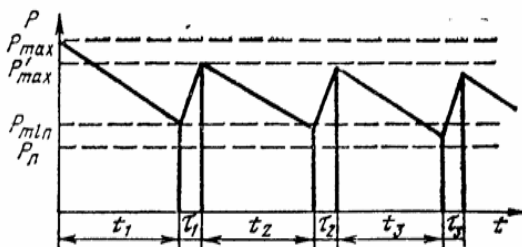


Рисунок 1 – Модель изменения и восстановления потенциала работоспособности мобильной машины

Используя положения теории случайных процессов, можно рекомендовать выборочную функцию математического ожидания изменения работоспособности машин для текущего момента времени, представленную в формуле (1)

$$\tilde{m}_p(t) = P_{\max} e^{-\nu t}, \quad (1)$$

и функцию выборочной дисперсии, представленную формулой (2):

$$\tilde{D}_p(t) = t(\alpha_1 + \alpha_2 \cdot t), \quad (2)$$

где ν , α_1 , α_2 , – показатель степени и коэффициенты, определяемые экспериментально.

Одним из основных потребителей белорусской автотракторной, строительной-дорожной, коммунальной и сельскохозяйственной техники является Россия, имеющая наибольшую вариабельность природно-климатических условий. Эксплуатация машин на открытом воздухе обуславливает повышенную интенсивность неблагоприятного воздействия климатических факторов, в первую очередь, низких и высоких температур воздуха, суточных и годовых амплитуд и размахов температур, солнечной радиации, влажности воздуха, интенсивности осадков, скорости и направления ветра. Неблагоприятные воздействия оказывают такие атмосферные явления, как метели, иней, туманы, гололед, пыльные и песчаные бури и др. В результате дополнительного повреждающего воздействия на-

званных факторов физико-механические и химические свойства конструкционных и эксплуатационных материалов, как правило, ухудшаются. Изменение свойств используемых материалов приводят к снижению их сопротивления воздействию основных повреждающих процессов – изнашиванию, коррозии, усталости, старения и эрозии, и, как следствие, снижению показателей надежности машин и эффективности их использования (рисунок 2). Решение проблемы обеспечения оптимальной надежности технических и эргатических систем при их эксплуатации в различных климатических условиях требует обобщения накопленного опыта создания машин, рассчитанных на работу в различных климатических условиях.

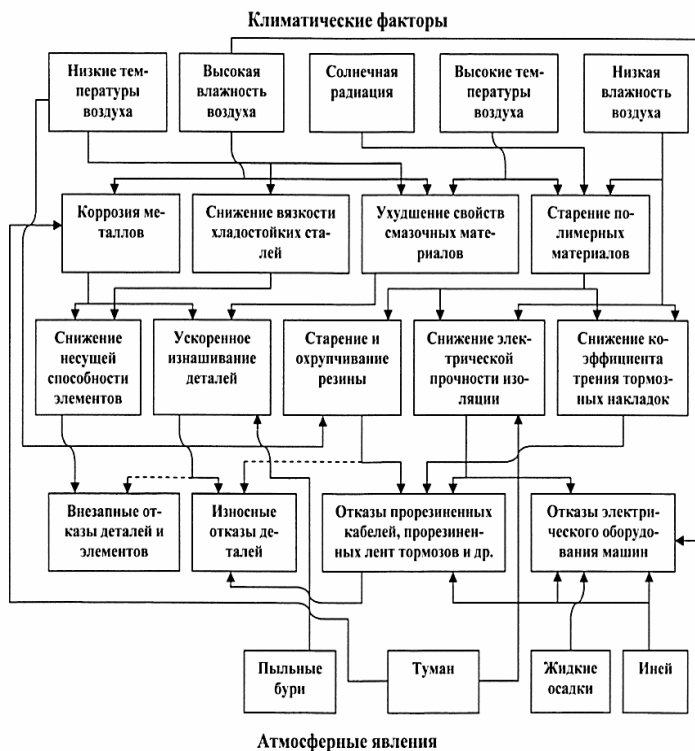


Рисунок 2 – Схема комплексного влияния климатических факторов и атмосферных явлений на свойства материалов и надёжность машин

Поскольку климат Земли характеризуется большим разнообразием, вся её территория по показателям климата для технических

целей условно разделена на шесть макроклиматических районов, характеристика которых приведена в таблице 1 [2, 3].

Таблица 1 – Классификация и характеристика климатических районов для технических целей

Район	Характеристика
Умеренный	Территория, на которой средняя из ежегодных абсолютных максимумов температуры воздуха равна или ниже 40 °С, средняя из ежегодных абсолютных минимумов температуры воздуха равна или выше – 45°С
Холодный	Территория, на которой средняя из ежегодных абсолютных минимумов температуры воздуха ниже – 45 °С
Тропический влажный	Территория, на которой сочетание температуры воздуха 20 °С или выше и относительной влажности 80 % или выше наблюдается в сутки 12 ч и дольше за непрерывный период более двух месяцев в году
Тропический сухой	Территория, на которой средняя из ежегодных абсолютных максимумов температуры воздуха выше 40 °С и которая не относится к макроклиматическому району с влажным тропическим климатом.
Умеренно-холодный морской	Акватория морей и океанов, расположенная севернее 30° северной и южнее 30° южной широты.
Тропический морской	Акватория морей и океанов, расположенная между 30° северной и 30° южной широты.

Макроклиматические районы холодного климата разделены на зоны арктического и субарктического климата, а между районами тропического и умеренного климата расположены зоны субтропического климата.

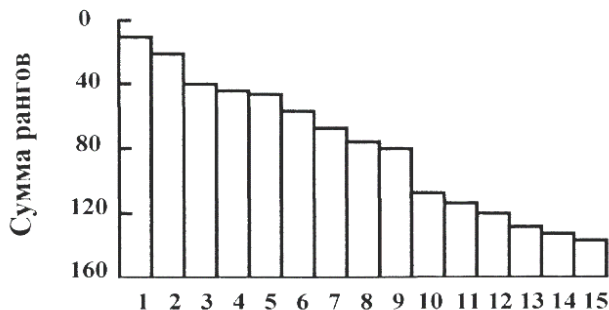
На свойства конструкционных материалов и, следовательно, на показатели надежности машин существенно влияют не все климатические факторы и атмосферные явления; влияние основных повреждающих факторов схематически показано на рисунке 2.

Наиболее существенно на технические устройства влияют низкие и высокие температуры воздуха, солнечная радиация, влажность воздуха, скорость ветра, туманы, метели, пыльные бури. Из-

менения свойств материалов зависят также от интенсивности и продолжительности воздействия перечисленных факторов и их наиболее неблагоприятного сочетания. В качестве обобщающего показателя климатических воздействий избрана **техническая жесткость климата**.

Для повышения точности моделирующих зависимостей необходимо учитывать в них влияние как можно большего числа факторов. Однако такие формулы были бы весьма громоздки, поэтому необходимо отбирать наиболее значимые факторы, существенно влияющие на прогноз технической жесткости климата и погоды.

В общем виде эти модели могут быть представлены как многофакторные функционалы, основные составляющие которых представлены и ранжированы на диаграмме (рисунок 3).



- 1 – $t_{в \text{ min ср}}$; 2 – $t_{в \text{ max абс}}$; 3 – относительная влажность воздуха;
4 – прямая солнечная радиация; 5 – амплитуда температуры воздуха;
6 – средняя скорость воздуха; 7 – пыльные бури; 8 – рассеянная радиация;
9 – продолжительность жаркого периода; 10 – туман;
11 – максимальная скорость ветра; 12 – количество осадков;
13 – атмосферное давление; 14 – переход температуры через 0 °С;
15 – направление ветра

Рисунок 3 – Априорная диаграмма рангов климатических факторов

Воздействия климатических факторов вызывают определенные типичные отказы, ускоряют потоки отказов, возникающих в результате случайных перегрузок, снижают сопротивление усталости большинства материалов, ухудшают режимы трения, акцентируют отдельные структурные и детальные ошибки, допущенные при проектировании и изготовлении машин. Ухудшение эксплуатац-

онных свойств материалов, вызванное воздействием климатических факторов, снижает наработку до наступления отказов и резко повышает интенсивность пусковых и нагрузочных отказов.

Из диаграммы рисунка 3 видно, что наиболее значимое неблагоприятное воздействие оказывают низкие и высокие температуры в зоне эксплуатации, а также их суперпозиция, называемая континентальностью климата.

Низкие температуры воздуха существенно влияют на свойства конструкционных и эксплуатационных материалов и на показатели надежности машин в целом (рисунок 4).

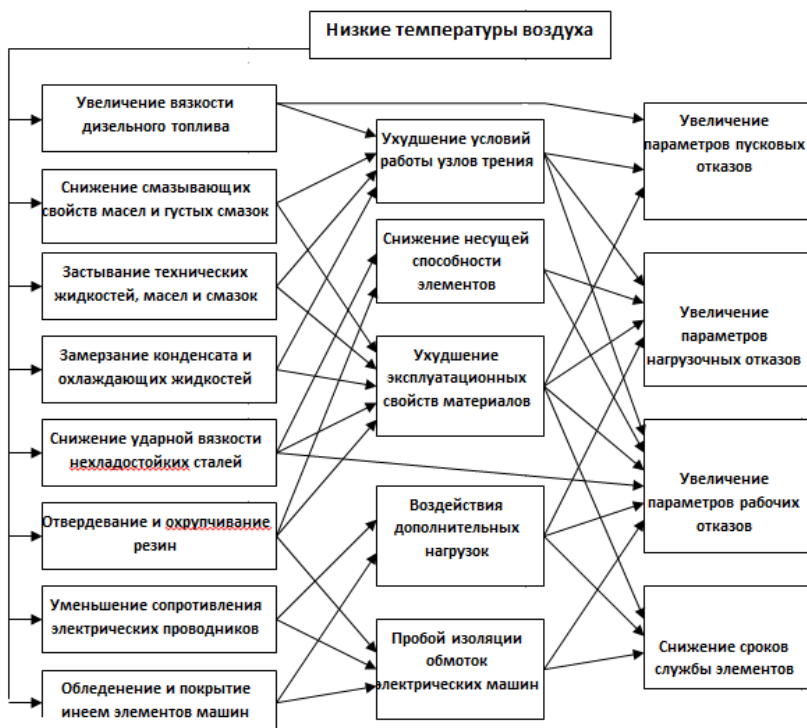


Рисунок 4 – Общая схема влияния низких температур воздуха на свойства материалов и отказы машин

Главной причиной увеличения параметра потока отказов машин в холодное время года являются хрупкие разрушения металличе-

ских деталей и элементов конструкций из металлов, полимерных материалов и, в отдельных случаях, из резин. Эти разрушения – следствие перехода материала деталей из вязкого в хрупкое состояние при определенных низких температурах (возникновение низкотемпературной хрупкости материалов).

С использованием результатов рангового анализа и уравнения (2) формула для определения технической жесткости холодного климата в баллах примет вид (3):

$$N_{\kappa} = \left(0,75t_{\min \text{ cp}} + 0,25t_{\min \text{ абс}}\right) \left(1+0,015\sigma_x\right) \left(1+0,07v_x\right) \times \left(1+0,26\varphi_x\right) \left(1+0,014n_{\text{т.м.}}\right) \left(1+0,022\tau_x\right), \quad (3)$$

где $t_{\min \text{ cp}}$ – среднее значение минимальных температур воздуха за три наиболее холодных месяца, °С; $t_{\min \text{ абс}}$ – среднее значение абсолютного минимума температуры воздуха за три наиболее холодных месяца, °С; σ_x – средний неперIODический размах суточных колебаний температуры воздуха за три наиболее холодных месяца, °С; v_x – средняя скорость ветра за три наиболее холодных месяца, м/с; φ_x – среднее значение относительной влажности воздуха за три наиболее холодных месяца в долях единицы; $n_{\text{т.м.}}$ – среднее значение за месяц числа дней с туманом и метелью за три наиболее холодных месяца; τ_x – продолжительность действия в месяцах средней температуры воздуха ниже нуля.

На основании рангового анализа и анализа влияния климатических факторов жаркого влажного климата на свойства материалов и надежность машин математическая модель для определения технической жесткости жаркого сухого климата в баллах примет следующий вид (4):

$$S_{\text{к.с.}} = \left(0,55t_{\max \text{ cp}} + 0,20t_{\max \text{ абс}}\right) \left(1+0,01Q_{\text{т}}\right) \left(1+0,0075\sigma_{\text{т}}\right) \times \left(1-0,03v_{\text{т}}\right) \left(1+\frac{0,08}{\varphi_{\text{т}}}\right) \left(1+0,009n_{\text{б.т.}}\right) \left(1+0,012\tau_{\text{т}}\right), \quad (4)$$

где $t_{\max \text{ cp}}$ – среднее значение максимальных температур воздуха за три наиболее теплых месяца, °С; $t_{\max \text{ абс}}$ – среднее значение абсолютного максимума температуры воздуха за три наиболее теплых месяца, °С; $Q_{\text{т}}$ – среднее значение месячной суммы суммарной сол-

нечной радиации за три наиболее теплых месяца; σ_T – средний непериодический размах суточных колебаний температуры воздуха за три наиболее теплых месяца, °С; v_T – средняя скорость ветра за три наиболее теплых месяца, м/с; φ_T – среднее значение относительной влажности воздуха за три наиболее теплых месяца в долях единицы; $n_{б.т.}$ – среднее значение за месяц числа дней с пыльной бурей и туманом за три наиболее теплых месяца; τ_T – продолжительность действия в месяцах средней температуры воздуха выше 0 °С.

Определение значимости каждого фактора с выделением существенных факторов и отсеиванием несущественных позволяет создать адекватные математические модели технической жесткости климата и погоды. Оценка степени согласованности экспертных оценок с помощью коэффициентов конкордации W и парной ранговой корреляции R по Спирмену показала хорошую согласованность этих оценок

$\left(W = 0,735, R = \frac{0,44}{0,88} \right)$. Проверка этих коэффициентов по критерию χ^2 показала их значимость с вероятностью 0,99.

В таблице 2 приведены ранжированные данные [1, 4], в балльной шкале оценивающие техническую жесткость климата в общем диапазоне его изменения – от маложесткого до наиболее жесткого. Баллы технической жесткости отдельно приведены для холодного и жаркого климата. Это позволяет констатировать, что максимальное дополнительное повреждающее воздействие оказывает эксплуатация в условиях холодного климата.

Таблица 2 – Техническая жесткость климата

Климат	Баллы технической жесткости климата	
	холодного	жаркого
Маложесткий	0–30	0–15
Умеренно жесткий	31–60	16–25
Жесткий	61–90	26–35
Очень жесткий	91–120	36–45
Наиболее жесткий	121–170	46–60

Континентальность климата является одной из главнейших его характеристик, оказывающих существенное влияние на показатели надёжности машин. Континентальность характеризуется го-

довыми размахами температуры воздуха. Чем больше эти размахи, тем выше континентальность климата. В районах высокой континентальности климата они могут достигать до 100 °С (районы Якутска, Оймякона и др.). Поскольку размах является суммой амплитуд положительных и отрицательных температур воздуха, это особенно усложняет процесс создания машин, надежно работающих и в экстремально холодных, и в экстремально жарких условиях.

Континентальность климата определяется по формуле (5):

$$k = \frac{A_{\Gamma}}{\varphi} \cdot 100\% \quad (5)$$

где A_{Γ} – годовой размах температуры воздуха; φ – географическая широта.

В результате проведенного анализа следует констатировать необходимость корректировки периодичности технических обслуживаний, которые завод-изготовитель, как правило определяет для климатической зоны собственной локации [4]. Эта оценочная зависимость определяется по формуле (6):

$$T_{\text{PTO,CP}} = T_{\text{ТО,Ж}} \cdot K_{\text{К}} \cdot K_{\text{Ж,CP}} / K_{\text{НЖ,CP}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{PTO,CP}}$ – средняя реальная периодичность ТО с учетом климатического фактора; $T_{\text{ТО,Ж}}$ – периодичность ТО для жесткого климата; $K_{\text{К}}$ – эмпирический коэффициент учета фактора континентальности климата; $K_{\text{Ж,CP}}$ – среднее значение балла технической жесткости жесткого климата; $K_{\text{НЖ,CP}}$ – среднее значение балла технической жесткости наиболее жесткого климата.

Аналогично производится нормирование расхода запасных частей.

Список использованных источников

1. Щурин, К.В. Надежность машин: Учебное пособие / К.В. Щурин. – СПб. : Издательство «Лань», 2019. – 592 с.
2. Кох, П.И. Климат и надежность машин / П.И. Кох. – М. : Машиностроение, 1981. – 175 с.
3. ГОСТ 16350-80. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей.

4. Технический сервис машин и основы проектирования предприятий: учеб. для вузов / М.И. Юдин [и др.]. – Краснодар : Совет. Кубань, 2007. – 968 с.

Abstract. The results of a comparative analysis of the potential of the operability of mobile machines during operation in various climatic conditions are. A method for correcting the frequency of maintenance is proposed.

УДК 631.531.011.3:53

Городецкая Е.А., кандидат технических наук, доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

ФАКТОРЫ НАДЕЖНОСТИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ

***Аннотация:** предлагается применение диэлектрической сепарации как метод получения семян высшей категории, т.к. их очистка на механических ситах становится все более неэффективной. Одновременно этот способ позволяет снизить импорт семян и нагрузку на высевающие агрегаты. Электросепараторы обладают высокой готовностью к работе и надежны в эксплуатации*

Перерабатывающие организации агропромышленного комплекса, в том числе и хозяйства-производители, постоянно решают важнейшую народнохозяйственную задачу – как не только получить и собрать «Белорусский Каравай», но и сохранить, переработать его и реализовать без потерь потребителю.

Основа любого урожая – семена, почти весь объем закрывают разработки отечественных селекционеров. В Беларуси высокий уровень селекции и семеноводства сельхозкультур за счет научной базы по селекции и использования современных методов, в ЕАЭС рекомендованы к производству сорта пшеницы и тритикале белорусской селекции. К примеру, обеспеченность своим материалом основных зерновых колосовых культур – более 90%, тем не менее завозится много семян из-за границы.