

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 622.331.002.5

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ТОРФЯНЫХ МАШИН ДЛЯ ФРЕЗЕРНОГО СПОСОБА ДОБЫЧИ

И.В. ГОРЛОВ, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: gorloviv@yandex.ru

© Горлов И.В., 2020

Предложена методика определения параметров надежности торфяных машин (ТМ), не имеющих достаточных статистических данных эксплуатации. Рассматриваемый подход позволит устанавливать изменение технического состояния широкой гаммы торфяных машин для фрезерного способа добычи, что даст возможность торфяным предприятиям осуществлять эксплуатацию с учетом индивидуального состояния ТМ и планов производства торфа, а также позволит проводить основные ремонты технологического оборудования в осенне-зимний период без снижения производительности работ в сезон добычи. Для торфяных машин, у которых не хватает статистических данных для анализа эксплуатации, можно использовать обобщенные данные по аналогичным торфяным машинам для получения ориентировочных зависимостей, позволяющих с некоторой точностью осуществлять прогнозирование изменения технического состояния исследуемого оборудования. При увеличении объемов статистических данных предлагается применять коэффициентный метод с использованием данных эксплуатации, что позволит повысить качество прогнозирования и, как следствие, снизить количество простоев из-за отказов и увеличить сезонную производительность торфяных машин.

Ключевые слова: торфяные машины, эксплуатация, надежность, ресурс, прогнозирование, производительность, исследования.

DOI: 10.46573/2658-5030-2020-3-32-40

ВВЕДЕНИЕ

Основными особенностями эксплуатации торфяных машин (ТМ) являются их сезонность и влияние метеорологических факторов, которые обуславливают недопустимость сложных отказов и, как следствие, простоев в периоды с благоприятными погодными условиями. Для снижения потерь из-за отказов и простоев на техническое обслуживание (ТО) в метеоблагоприятные дни необходимо в процессе реализации планов добычи использовать алгоритмы, позволяющие оперативно получать рекомендации по изменению планов-графиков ремонта и обслуживания ТМ.

Разработка таких алгоритмов без использования статистических данных по параметрам надежности [1] конкретной торфяной машины затруднительна. Отчасти эту проблему можно решить, применяя статистические данные по аналогичным машинам, но при этом необходимо учитывать особенности исследуемого оборудования.

Детали ТМ (и в первую очередь рабочие органы ТМ) эксплуатируются в тяжелых условиях, испытывают статические, динамические нагрузки, на них воздействует агрессивная окружающая среда. Все это учитывается при проектировании, но в процессе эксплуатации возникают определенные условия, при которых некоторые ТМ ремонтируются неоднократно, а другие имеют большую наработку на отказ.

Данные многолетних наблюдений за эксплуатацией ТМ позволили выявить, что с ростом наработки число отказов и затраты на ремонты машин значительно возрастают и, как следствие, снижается сезонная производительность [2, 3]. Используя эти данные, для известных машин можно с некоторой точностью прогнозировать параметры эксплуатации для ТМ, не имеющих таких данных, с учетом их особенностей. Для этого существует ряд методик, например анализ надежности по среднегрупповым значениям интенсивности потока отказов, с использованием данных эксплуатации, коэффициентный метод и др.

Применяя данные прогнозирования, можно определять среднестатистические затраты на ТО и ремонты, что позволит при разработке планов-графиков работ на сезон учесть вероятные потери даже для машин, не имеющих статистических данных по надежности. При этом сроки постановки на ремонт конкретной машины обуславливаются экономическими соображениями [4, 5]. Главная цель эксплуатирующихся организаций заключается в том, чтобы максимально увеличить сезонную производительность ТМ с учетом изменения их технического состояния и метеонеблагоприятных условий.

Цель представленного исследования – разработка методики определения параметров надежности ТМ, не имеющих достаточных статистических данных эксплуатации, позволяющей на основе полученных характеристик осуществлять прогнозирование изменения технического состояния техники; это позволит наилучшим образом использовать метеоблагоприятные для добычи торфа дни и обеспечит наибольшую сезонную производительность машин.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТОРФЯНЫХ МАШИН

Для проведения статистических исследований надежности машин существует множество методик [6, 7]. В представленном исследовании изучался поток отказов различных ТМ. Статистические параметры надежности были получены для ТМ, используемых для фрезерного способа добычи: уборочных машин бункерного типа МТФ-43А и МТФ-43АК; фрезеров Ф-6,5; ворошилок ВС-9,6; валкователей ВТ-9,8. Данные исследования были проведены на базе ОАО «Васильевский мох». Представленные машины использовались на ряде производственных участков, расположенных на верховых типах залежи со средней степенью разложения торфа около 25 % и при объемной пнистости от 1 до 2 %. Залежи – второго года эксплуатации с эксплуатационной влажностью 80 %, фрезерование проводилось на глубину 0,011 м, уборка торфа производилась при условной влажности около 40 %.

В исследованиях участвовали три группы технологических машин. В первую группу входили четыре бункерных уборочных машины МТФ-43А, два фрезера Ф-6,5 и по одной ворошилке ВС-9,6 с валкователем ВТ-9,8. Во вторую и третью группы входили по четыре бункерных уборочных машин МТФ-43АК, а также по два фрезера Ф-6,5 и по одной ворошилке ВС-9,6 с валкователем ВТ-9,8.

В процессе исследования для каждого из представленных типов машин регистрировалось количество отказов и рассчитывались статистические характеристики: среднее время безотказной работы, среднее время восстановления с учетом ожидания ремонта, среднеквадратическое отклонение наработки на отказ.

Для анализа результатов статистического исследования определялся коэффициент готовности рассматриваемых машин:

$$K_2 = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + t_6},$$

где t_{cp} – средняя наработка на отказ; t_6 – среднее время восстановления машины с учетом ожидания ремонта, ч (табл. 1).

Таблица 1. Статистические характеристики эксплуатации машин

Тип машин	t_{cp} , ч	σ	t_6 , ч	σ_6 , ч	K_2
МТФ-43А	12,5	11,2	6,1	5,9	0,67
МТФ-43АК	19,5	18,9	4,6	4,7	0,81
Ф-6,5	17,2	12,6	6,0	4,9	0,74
ВС-9,6	81,3	79,5	3,1	3,3	0,93

Примечание: σ – среднее квадратическое отклонение; σ_6 – среднее квадратическое отклонение от среднего времени восстановления.

В процессе проведенных исследований был осуществлен анализ узлов, выходящих из строя у рассмотренных машин как элементов, отвечающих за надежность, и построены гистограммы зависимости потока их отказов от i -количества элементов, влияющих на безотказность и наработки машины (рис. 1). Кроме того, все отказы условно были распределены по группам в зависимости от времени устранения (первая группа сложности – до 2 ч, вторая – до 8 ч, третья – более 8 ч) и для каждой из этих групп определен поток отказов.

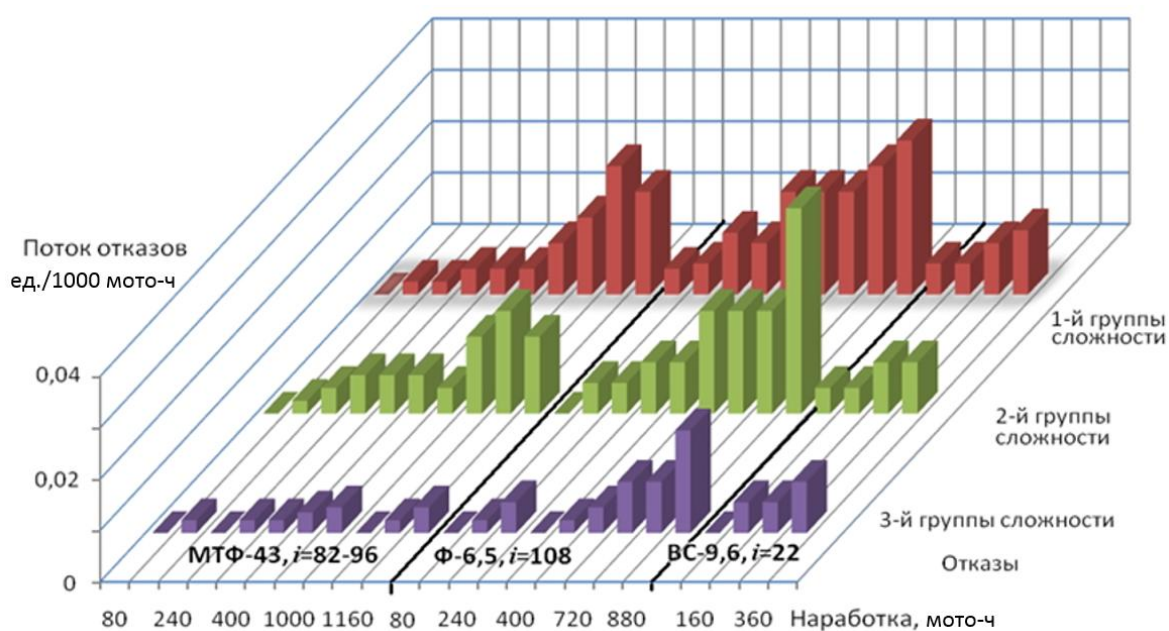


Рис. 1. Зависимость потока отказов торфяных машин от наработки и количества элементов, влияющих на безотказность

Из представленных гистограмм видно, что количество отказов зависит в данном случае не только от наработки машины, но и от общего количества элементов, влияющих на безотказность. Количество выявленных отказов коррелирует с количеством элементов, отвечающих в конкретной машине за надежность.

На основе проведенного исследования было установлено, что при наработке машины менее 50 % от полного ресурса коэффициент готовности ТМ существенно не изменяется и несущественно снижается с ростом количества элементов.

При наработке ТМ более 50 % от полного ресурса коэффициент готовности уменьшается с ростом наработки, причем, более интенсивно с увеличением числа элементов. Из этого следует, что для машин, обладающих 100 и более элементов, а также выработавших более 50 % своего ресурса, коэффициент готовности требуется определять индивидуально и учитывать при планировании добычи фрезерного торфа.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ

Анализ результатов приведенного исследования надежности представленных ТМ показал, что конкретные элементы ТМ имеют различную величину потока отказов (рис. 2). Данное обстоятельство должно учитываться при разработке модели надежности ТМ, что позволит повысить качество прогнозирования.

Использование информационных технологий при эксплуатации торфяных машин позволит оперативно (с учетом конкретного характера изменения технического состояния для каждой ТМ) устанавливать целесообразность дальнейшего их применения при любой с начала эксплуатации наработке, а также стимулировать у обслуживающего персонала ответственное отношение к сохранению ресурса оборудования.

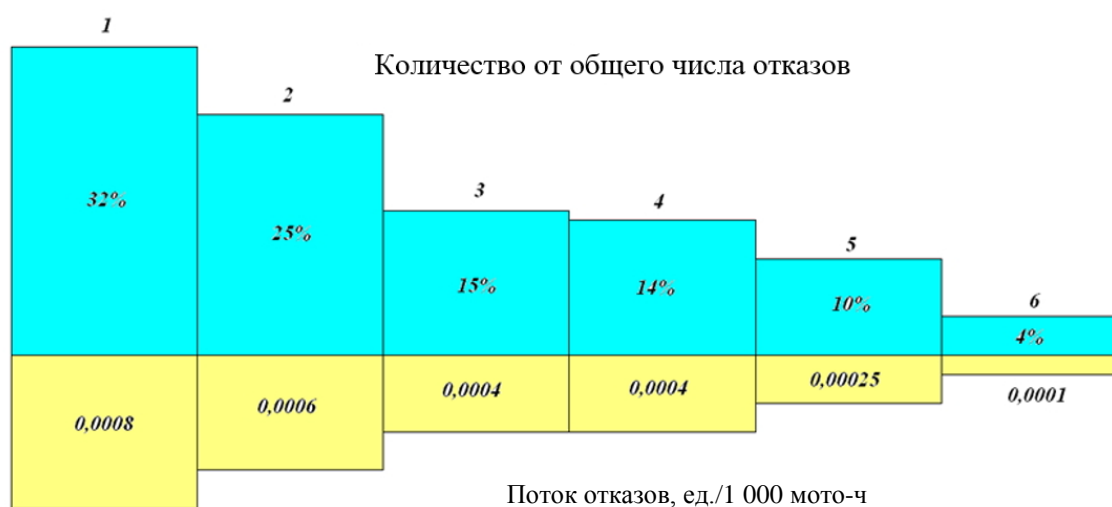


Рис. 2. Распределение отказов по группам элементов:

- 1 – фрикционных трибоэлементов; 2 – рабочих элементов и элементов трансмиссии из-за перегрузки; 3 – элементов несущей системы;
- 4 – антифрикционных трибоэлементов скольжения;
- 5 – антифрикционных трибоэлементов качения; 6 – других элементов

Система управления работоспособностью ТМ может реализовываться с помощью алгоритма [8], в котором предусматривается создание базы данных, изменяющихся в процессе эксплуатации, для каждой технологической машины по соответствующей подсистеме.

Полученные данные должны храниться в базе весь период эксплуатации ТМ, что позволит проводить анализ изменения контролируемых параметров в зависимости от текущей наработки и, как следствие, давать более точный прогноз работоспособности ТМ в запланированный период добычи.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ МАШИН, НЕ ИМЕЮЩИХ ДОСТАТОЧНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Для обеспечения нужного уровня надежности ТМ, не имеющих достаточных статистических данных, необходимо найти показатели надежности на основе известных методик, позволяющих использовать данные по аналогичным машинам.

Наиболее доступным является метод расчета показателей надежности по среднегрупповым значениям интенсивности потока отказов. В качестве исходных данных для сложных систем (ТМ как систем, с точки зрения надежности состоящих из элементов), состоящих из r групп, используются известные интенсивности отказов λ_i для количества N_i элементов i -й группы. Значение λ_i выбирается из специальных таблиц справочников. В этом случае суммарный поток отказов можно рассчитать по формуле

$$\lambda = \sum_{i=1}^r N_i \lambda_i,$$

наработку на отказ T_H – по формуле

$$T_H = 1/\lambda.$$

Однако полученные таким образом данные дают достаточно грубые результаты, что может приводить к ошибкам при прогнозировании. Таким образом, этот метод можно применять при отсутствии данных, полученных по результатам эксплуатации аналогичных машин.

В большинстве случаев для ТМ, используемых при фрезерном способе добычи, статистические данные эксплуатации для аналогичных машин известны. Тогда нужно использовать методику расчета параметров надежности с учетом данных эксплуатации. Расчет параметров с помощью этой методики бывает двух разновидностей: по среднему уровню надежности аналогичных машин и коэффициентный метод.

При расчете по среднему уровню надежности однотипных систем принимается, что $\lambda_{ai} = \lambda_{ui}$, где λ_{ai} – средняя интенсивность отказов элементов i -й группы машины аналога, λ_{ui} – средняя интенсивность отказов элементов i -й группы исследуемой машины. Тогда при известном среднем количестве элементов аналога N_a и исследуемой машины N_u наработка на отказ исследуемой машины T_{nu} может определяться по формуле

$$T_{nu} = \frac{N_a}{N_u} T_{na},$$

поток отказов – по формуле

$$\lambda_u = \frac{1}{T_{nu}}.$$

Если использовать коэффициентный метод расчета по среднему уровню надежности однотипных систем, то по результатам эксплуатации находится

коэффициент пересчета, который зависит от параметров реальной эксплуатации (например, объемной плотности залежи). Коэффициент пересчета можно определить с помощью выражения

$$a = \frac{T'_{на}}{T_{на}},$$

где $T_{на}$ – расчетная наработка на отказ машины-аналога (определяется по табличным данным); $T'_{на}$ – опытная наработка на отказ машины-аналога.

$T_{на}$ устанавливается на основе табличных данных по интенсивности отказов λ_i машины-аналога:

$$T_{на} = \left(\sum_{i=1}^r N_{ia} \lambda_i \right)^{-1}.$$

Нарботка на отказ исследуемой машины будет $T_{на} = aT'_{на}$. Можно также использовать коэффициентный метод с расчетами на основе интенсивности отказов базового элемента λ_{σ} . Исходными для расчета будут N_i – число элементов i -й группы исследуемой машины; λ_i – интенсивность отказов элементов i -й группы исследуемой машины. В этом случае поток отказов можно рассчитать как

$$\lambda = \lambda_{\sigma} \sum_{i=1}^r N_i k_i,$$

где k_i – коэффициент пересчета, который определяется как

$$k_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_{\sigma}}.$$

Коэффициентный метод расчета параметров надежности является наиболее простым, но в тоже время обладает достаточно высокой точностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор конкретного метода расчета параметров надежности зависит от большого количества факторов (наличия статистических данных по эксплуатации конкретной торфяной машины или ее аналога, возможности получения табличных данных по параметрам эксплуатации, конкретных условий эксплуатации и др.). Поэтому сначала для прогнозирования могут использоваться методы, дающие достаточно грубые результаты, но впоследствии (с увеличением объема статистических данных) могут применяться более точные методики, которые позволят осуществлять достаточное по точности прогнозирование изменения технического состояния ТМ, что позволит снизить потери из-за отказов машин в период добычи торфа.

Просчитав с помощью представленных методик возможные варианты изменения параметров надежности ТМ, можно с высокой долей вероятности принять правильное решение о воздействии на машину с целью поддержания ее работоспособности.

Использование предлагаемых методик анализа параметров надежности ТМ позволит снизить погрешности расчета, повысить точность планирования и качество ТО и ремонтов в зависимости от условий эксплуатации техники.

При разработке планов добычи на сезон необходимо определять объемы уборочных площадей месторождений, а также требуемое количество машин для реализации этих планов. Количество необходимых машин устанавливается в соответствии с их производительностью и с учетом коэффициента технической готовности для соответствующих типов оборудования. При этом нужно обращать внимание на состояние конкретной торфяной машины, что позволит избежать провала планов добычи из-за отказов. С помощью расчетов параметров надежности ТМ можно определить прогнозируемый коэффициент готовности индивидуально (с учетом особенности каждой машины).

Установление с помощью различных исследований индивидуальных параметров надежности торфяных машин позволит с достаточной точностью определять периодичность операций по восстановлению их работоспособности с учетом изменения технического состояния, а также внешних факторов воздействия и дает возможность максимально использовать благоприятные для добычи торфа дни и выбирать оптимальные решения с целью воздействия на состояние машины для достижения наибольшей сезонной производительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Труханов В.М. Надежность изделий машиностроения. Теория и практика: учебник для вузов. М.: Спектр, 2013. 334 с.
2. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Бондарев Ю.Ю. Состояние технического перевооружения машинно-тракторного парка торфодобывающих компаний // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2014. № 3 (202). С. 229–235.
3. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Габов В.В. Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. 2015. № 14. С. 82–91.
4. Alhuraish I., Robledo C., Kobi A. Assessment of Lean Manufacturing and Six Sigma operation with Decision Making Based on the Analytic Hierarchy Process // *IFAC-PapersOnLine*. 2016. V. 49. № 12. P. 59–64.
5. Горлов И.В., Болотов А.Н. Информационная составляющая системы управления работоспособностью торфяных машин // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013. № 1. С. 216–221.
6. Исаенко В.Д., Исаенко А.В., Исаенко П.В. Основы теории надежности и диагностика автомобилей: учебное пособие. Томск: ТГАСУ, 2007. 240 с.
7. Шиловский В.Н., Питухин А.В., Костюкевич В.М. Исследование потока отказов элементов конструкций лесных машин // *Современные наукоемкие технологии*. 2016. № 7 (1). С. 94–98.
8. Болотов А.Н., Горлов И.В., Полетаева Е.В., Рахутин М.Г. Информационная система анализа эксплуатации технологических машин // *Программные продукты и системы*. 2016. № 1. С. 83–89.

Для цитирования: Горлов И.В. Анализ надежности торфяных машин для фрезерного способа добычи // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2020. № 3 (7). С. 32–39.

THE RELIABILITY ANALYSIS OF PEAT MACHINES FOR MILLING METHOD OF PRODUCTION

I.V. GORLOV, Dr. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,
Russian Federation, e-mail: gorloviv@yandex.ru

The methodology for determining of the reliability parameters of peat machines that do not have sufficient statistical data on operation has been proposed. The proposed approach will permit to determine the change of the technical status of a wide range of peat machines for the milling method of extraction. It will enable peat enterprises to operate taking into account their individual condition and plans for the peat production, and will permit to carry out the major repairs of technological equipment in the autumn-winter period without decreasing the works productivity in the mining season. For peat machines that do not have enough statistical data to analyze their operation, one can use the generalized data on similar peat machines to obtain approximate dependencies which permit to predict changes in the technical state of the equipment under study with some accuracy. With an increase of statistical data amount, it is proposed to use the coefficient method using operational data. It permits to improve the quality of forecasting and as a result to reduce the number of downtime due to failures and to increase the seasonal productivity of peat machines.

Keywords: peat machines, operation, reliability, resource, forecasting, productivity, research.

REFERENCES

1. Trukhanov V.M. Nadezhnost izdeliy mashinostroyeniya. Teoriya i praktika: uchebnik dlya vuzov [Reliability of engineering products. Theory and practice: a textbook for universities]. Moscow: Spektr, 2013. 334 p.
2. Mikhaylov A.V., Ivanov S.L., Bondarev Yu.Yu. The state of technical re-equipment of the machine and tractor fleet of peat mining companies. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*. 2014. No. 3 (202), pp. 229–235. (In Russian).
3. Mikhaylov A.V., Ivanov S.L., Gabov V.V. Formation and efficient use of the machine park of peat mining companies. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftgazovoye i gornoye delo*. 2015. No. 14, pp. 82–91. (In Russian).
4. Alhuraish I., Robledo C., Kobi A. Assessment of lean manufacturing and six sigma operation with decision making based on the analytic hierarchy process. *IFAC-PapersOnLine*. 2016. V. 49. No. 12, pp. 59–64.
5. Gorlov I.V., Bolotov A.N. The information component of the peat machine performance management system. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2013. No. 1, pp. 216–221. (In Russian).
6. Isayenko V.D., Isayenko A.V., Isayenko P.V. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostika avtomobiley: uchebnoye posobiye [Fundamentals of the theory of reliability and car diagnostics: a textbook for universities]. Tomsk: TGASU, 2007. 240 p.
7. Shilovsky V.N., Pitukhin A.V., Kostyukevich V.M. Investigation of the failure flow of structural elements of forest machines. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*. 2016. No. 7 (1). pp. 94–98. (In Russian).
8. Bolotov A.N., Gorlov I.V., Poletaeva E.V., Rakhutin M.G. Information system for the analysis of the operation of technological machines. *Programmnye produkty i sistemy*. 2016. No. 1. pp. 83–89. (In Russian).