

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 622.331.002.5

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ТОРФЯНЫХ МАШИН В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

И.В. ГОРЛОВ, д-р техн. наук

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

© Горлов И.В., 2020

В статье рассматривается методика предварительного анализа надежности конструкции торфяных машин (ТМ) на стадии проектирования. Для проектируемых ТМ можно проводить оценку надежности, используя обобщенные статистические данные по аналогичным торфяным машинам, но при этом возникают существенные ошибки, не позволяющие с требуемой точностью прогнозировать техническое состояние разрабатываемого оборудования. Предлагаемая методика позволяет оценить разрабатываемую конструкцию машины с точки зрения надежности на основе анализа эксплуатации аналогичных агрегатов существующих ТМ. Для этого существующие ТМ разбиваются на отдельные механизмы, для которых имеются статистические данные по параметрам отказов. Аналогично производится разбиение проектируемых машин, при этом для получения необходимых параметров надежности предполагается использовать коэффициентный метод расчета с учетом наличия в разрабатываемой конструкции ТМ количества наиболее ответственных деталей и узлов. Таким образом, использование данных эксплуатации существующих ТМ позволяет повысить качество прогнозирования изменения параметров надежности разрабатываемых машин. Как следствие, при их эксплуатации достигается снижение количества простоев из-за труднопрогнозируемых отказов, что позволяет увеличить сезонную производительность ТМ.

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

DOI: 10.46573/2658-5030-2020-4-32-38

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей особенностью эксплуатации ТМ для фрезерного способа добычи является сезонность использования и метеорологические ограничения, влияющие на сушку торфяной крошки. Вследствие этого возникновение сложных отказов приводит к значительным простоям в периоды с благоприятными погодными условиями, что нарушает производственный цикл добычи и ведет к существенному снижению производства фрезерного торфа [1].

Для повышения эффективности торфяного производства многие производители ТМ разрабатывают новые технологические машины с повышенной производительностью и более широкими возможностями использования, что в большинстве случаев ведет к существенному усложнению их конструкции. Оценить надежность таких машин на этапе проектирования достаточно сложно,

так как их структура значительно изменяется по сравнению с существующими аналогами.

При внедрении новых машин в торфяное производство [2] для снижения потерь из-за непредвиденных отказов необходимо использовать предварительную оценку их надежности, полученную на этапе проектирования. Это позволит в процессе разработки планов добычи учитывать рекомендации производителей новых машин по составлению планов-графиков ремонта и обслуживания ТМ.

Разработка таких рекомендаций затруднительна без использования опыта эксплуатации аналогичных ТМ, но при этом применение статистических данных для существующих машин не всегда корректно из-за их отличия от новых. Отчасти данную проблему можно решать за счет использования имеющихся усредненных статистических данных по существующим аналогичным машинам с учетом количества узлов в новых машинах, но в этом случае не всегда могут быть учтены особенности нагружения деталей проектируемого оборудования.

При проектировании новых торфяных машин необходимо учитывать особенности взаимодействия деталей в процессе работы, так как рабочие органы ТМ эксплуатируются в тяжелых условиях и испытывают при этом значительные статические и динамические нагрузки. Для проверки работоспособности проектируемых машин проводятся лабораторные и модельные испытания, но в большинстве случаев они не могут обеспечить необходимую полноту данных по надежности.

Таким образом, при разработке новых торфяных машин требуется использование новых подходов для анализа их надежности на этапе проектирования. Для решения данной проблемы можно структурно разделить существующую торфяную машину на механизмы, имеющие определенное назначение, получить для них статистические данные по надежности, а затем использовать эту информацию для аналогичных механизмов проектируемой машины с учетом отличия ее конструкции.

Целью данного исследования является разработка методики установления предварительных параметров надежности для проектируемой торфяной машины на основе анализа эксплуатации аналогичных машин с разделением полученных данных по механизмам, имеющим определенное назначение, что позволит на стадии внедрения новых ТМ осуществлять прогнозирование изменения технического состояния оборудования и обеспечит наибольшую сезонную производительность.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТОРФЯНЫХ МАШИН

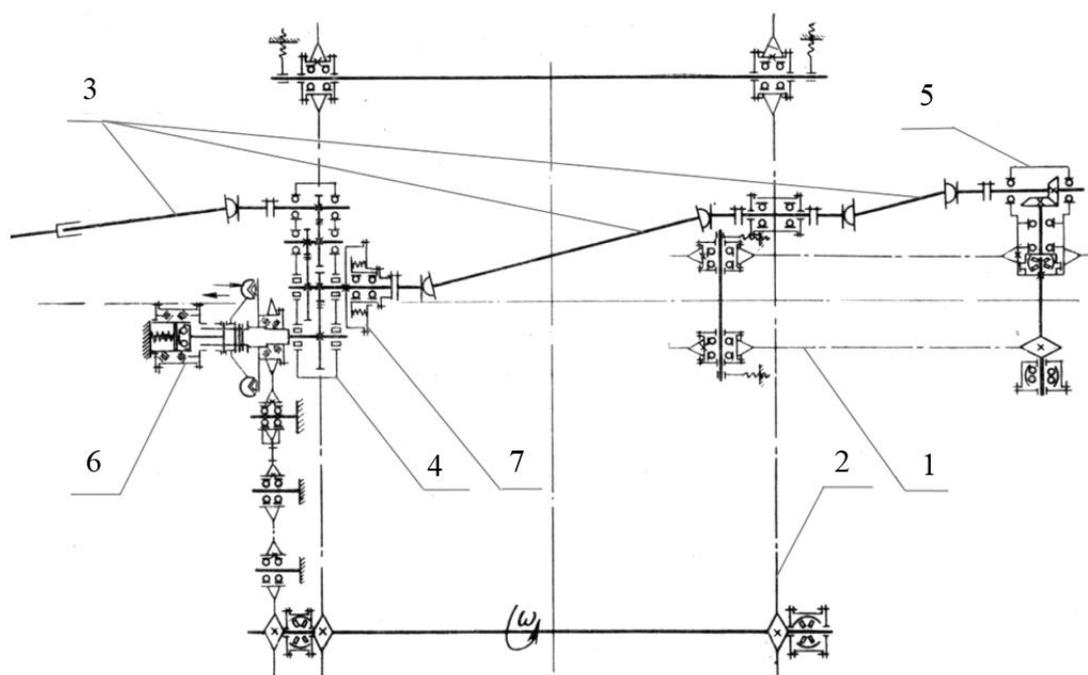
Анализ данных эксплуатации торфяных машин может осуществляться различными методами [3, 4], но исходя из целей исследования в первую очередь изучались отказы, связанные с отдельными механизмами, выполняющими определенные функции у ТМ для фрезерного способа добычи. На базе предприятия ОАО «Васильевский мох» в течение двух лет было исследовано более 30 ТМ.

Наиболее важны данные о машинах, имеющих сложную структуру механизмов, таких как скреперно-бункерные уборочные агрегаты МТФ-43А и МТФ-43АК, фрезеры Ф-6,5 и др.

В скреперно-бункерных уборочных агрегатах можно условно выделить несколько механизмов, такие как ковшовый элеватор загрузки, скребковый конвейер разгрузки, карданная передача, раздаточная коробка, редуктор привода ковшového элеватора (рисунок).

В процессе работы уборочных машин МТФ-43А и МТФ-43АК элеватор достаточно часто заклинивало древесными остатками, находящимися в торфяной

залежи, из-за чего приходилось останавливать машину для устранения проблем (в среднем это происходило с периодичностью 8...10 часов). В некоторых случаях заклинивание элеватора загрузки приводило к отказам предохранительных муфт, что требовало ее регулировки или замены некоторых деталей механизма. Нарботка на отказ данного механизма в среднем составляла 48...64 часа. Периодически (через 54...72 часа работы) происходил также сход цепи элеватора со звездочек из-за ослабления натяжения вследствие попадания древесных остатков.



Кинематическая схема уборочной машины МТФ-43:

- 1 – ковшовый элеватор; 2 – скребковый конвейер разгрузки; 3 – карданная передача; 4 – раздаточная коробка; 5 – редуктор привода ковшового элеватора; 6 – муфта включения привода выгрузки; 7 – предохранительная муфта ковшового элеватора

Наблюдались отказы карданных передач (в среднем один на 84 часа работы), отказы муфты включения привода выгрузки (в среднем один на 76 часов работы). Обрывы цепи ковшового элеватора происходили у машин, выработавших значительно более половины ресурса, в среднем для рассматриваемых машин по данной причине происходил один отказ на 165 часов работы. Встречались и другие отказы скреперно-бункерных уборочных агрегатов (особенно у машин с большой наработкой), но значительно реже и поэтому не учитывались.

При эксплуатации фрезеров наиболее часто происходили отказы приводов фрез из-за пробуксовывания предохранительных муфт (в среднем один отказ на 72 часа работы). Наблюдались также отказы карданных приводов (в среднем один отказ на 156 часов работы), отказ редуктора привода фрез у машин с наработкой значительно больше половины ресурса (что в среднем дает один отказ на 116 часов работы). Разрушение режущих элементов и другие отказы, встречавшиеся существенно реже, не учитывались.

Большинство из наблюдаемых отказов рассматриваемых механизмов происходило из-за наличия в обрабатываемой торфяной залежи древесных остатков, поэтому практически у всех исследуемых машин в конструкции предусмотрены предохра-

нительные устройства, от настройки которых зависит надежность функционирования ТМ. Кроме того, необходимо учитывать состояние торфяной залежи, что в принципе невозможно на этапе проектирования ТМ, в связи с чем полученные на основе представленного анализа параметры надежности носят ориентировочный характер.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКАЗОВ ПО МЕХАНИЗМАМ

Анализ распределения отказов показал, что отдельные механизмы исследуемых ТМ имеют сходную конструкцию, но различную величину потока отказов. Это связано с тем, что данные механизмы используются на разных этапах добычи. Соответственно, при определении параметров надежности проектируемой машины это обстоятельство должно обязательно учитываться. Поэтому использование зависимостей, например для получения потока отказов машины, который вычисляется суммированием произведений количества однотипных элементов на поток их отказов, будет давать значительные погрешности. Решением этой проблемы может стать методика расчета параметров надежности проектируемых машин с разделением по механизмам, имеющим различное назначение [5].

Проведем анализ функционирования ТМ на примере скреперно-бункерного уборочного агрегата, при работе которого на первом этапе происходит подбор торфяной крошки из предварительно сформированного валка. Древесные включения, которые встречаются в торфяной залежи, в процессе добычи попадают в торфяную крошку и при ее подъеме ковшовым элеватором в бункер могут заклинивать данный механизм. У оператора уборочной машины в кабине имеется устройство сигнализации остановки ковшового элеватора. Если оно срабатывает, то оператор останавливает машину, извлекает помеху из механизма загрузки и, если механизм исправен, продолжает работу. Таким образом, на первом этапе работы уборочной машины из торфяной крошки удаляется значительное количество включений, приводящих к остановкам и перегрузкам механизмов. На втором этапе работ, выполняемых данной машиной, заполненный бункер разгружается в установленных местах с помощью скребкового конвейера. Так как количество крупных инородных включений в торфяной крошке за счет их удаления на первом этапе снижается, то отказы данного механизма происходят существенно реже. Следовательно, хотя механизмы загрузки и выгрузки имеют сходную конструкцию, но рассматривать их с точки зрения надежности нужно отдельно. Кроме того, отказы, происходящие у ТМ со значительной наработкой и не встречающиеся у относительно новых машин, не должны учитываться при определении параметров надежности на этапе проектирования.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ТОРФЯНЫХ МАШИН НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Для определения параметров надежности проектируемых ТМ необходимо использовать данные эксплуатации по аналогичным машинам с разделением информации по механизмам. В большинстве случаев такие данные доступны для ТМ, применяемых для фрезерного способа добычи. Расчет параметров надежности с разделением по механизмам, выполняющим различные функции, можно проводить с помощью двух вариантов: по среднему уровню надежности аналогичных механизмов машин и с использованием коэффициентного метода.

При расчете по среднему уровню надежности однотипных механизмов, выполняющих аналогичные функции, принимается $\lambda_{ai}^j = \lambda_{ni}^j$, где λ_{ai}^j – интенсивность

потока отказов основных элементов, влияющих на надежность i -го механизма торфяной машины аналога; λ'_{ni} – интенсивность потока отказов основных элементов, влияющих на надежность i -го механизма проектируемой ТМ. Следовательно, для ТМ как сложных механических систем, состоящих из r механизмов, которые имеют определенное назначение, можно использовать известные интенсивности потока отказов λ'_{ai} для механизмов машин-аналогов с учетом количества N'_{ni} элементов i -го механизма проектируемой машины и определить суммарный поток отказов проектируемой ТМ:

$$\lambda'_n = \sum_{i=1}^r N'_{ni} \lambda'_{ai},$$

а наработку на отказ проектируемой машины можно рассчитать по выражению

$$T'_{m} = \frac{1}{\lambda'_n}.$$

Параметры надежности проектируемой машины можно также рассчитать, используя коэффициентный метод с учетом результатов опытной эксплуатации машины аналога. Для этого определяется поправочный коэффициент

$$a = \frac{T'_{наф}}{T'_{на}},$$

где $T'_{на}$ – расчетная наработка на отказ аналогичной торфяной машины; $T'_{наф}$ – опытная наработка на отказ машины.

$T'_{на}$ определяется на основе табличных данных потока отказов λ'_{ai} для отдельных механизмов N'_{ai} , имеющих определенное назначение:

$$T'_{на} = \left(\sum_{i=1}^r N'_{ai} \lambda'_{ai} \right)^{-1}.$$

Нарработка на отказ исследуемой машины

$$T'_{m} = a T'_{на}.$$

Представленные методы расчета параметров надежности проектируемых ТМ являются достаточно простыми, но позволяют проводить предварительный анализ эксплуатации новых машин с достаточной точностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор того или иного метода расчета представленных параметров надежности в процессе проектирования зависит от множества факторов, таких как наличие достаточных статистических данных по эксплуатации отдельных механизмов ТМ-аналога; наличие соответствующих табличных данных эксплуатации отдельно по механизмам; качество проектирования и др.

Следовательно, при проектировании выбор метода расчетов параметров надежности в большинстве случаев будет индивидуальным. При этом сначала могут быть использованы доступные приближенные методы [6], которые чаще всего дают относительно грубые результаты, затем при проведении эксплуатационных испытаний новых ТМ с ростом объема статистических данных по отдельным механизмам появляется возможность применения предложенных методик, что поможет повысить качество прогнозирования изменения технического состояния ТМ.

Разработка планов добычи торфяными предприятиями, использующими новую, неапробированную технику, встречается со значительными затруднениями вследствие отсутствия данных по эксплуатации таких машин. В этом случае предприятия – изготовители новых ТМ обязаны представлять эксплуатирующим организациям расчетные данные по надежности внедряемого оборудования. На базе полученных от производителей расчетных данных по надежности новых машин можно с достаточной точностью определить требуемое количество ТМ для выполнения плана добычи в соответствии с их проектной производительностью, а также с учетом коэффициентов технической готовности, полученных на основе предложенной методики расчета параметров надежности для внедряемых машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
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. Исаенко В.Д., Исаенко А.В., Исаенко П.В. Основы теории надежности и диагностика автомобилей: учебное пособие. Томск: ТГАСУ, 2007. 240 с.
4. Горлов И.В., Болотов А.Н. Информационная составляющая системы управления работоспособностью торфяных машин // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2013. № 1. С. 216–221.
5. 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.
6. Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Бурмистрова О.Н., Яковлев К.А. Комплексная оценка надежности лесозаготовительных машин // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 2. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=8537> (дата обращения: 12.08.2020).

Для цитирования: Горлов И.В. Анализ надежности торфяных машин в процессе проектирования // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2020. № 4 (8). С. 32–38.

ANALYSIS OF THE RELIABILITY OF PEAT MACHINES IN THE PROCESS OF DESIGN

I.V. GORLOV, Dr. Sc.

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

The article discusses the method of preliminary analysis of the reliability of the design of peat machines (PM) at the design stage. For the designed TM, it is possible to assess the reliability using generalized statistical data on similar peat machines, but significant errors arise that do not allow predicting the technical condition of the equipment under development with the required accuracy. The proposed technique makes it possible to evaluate the developed design of the machine in terms of reliability based on the analysis of the operation of similar units of existing PM. For this, the existing peats machines are divided into separate mechanisms, for which there are statistics on failure parameters. The division of the designed machines is carried out in a similar way; while in order to obtain the necessary reliability parameters, it is proposed to use the coefficient calculation method, taking into account the presence in the developed PM design of the number of the most critical parts and assemblies. Thus, the use of data from the operation of existing PM makes it possible to improve the quality of predicting changes in the reliability parameters of the machines being developed, and as a result, during their operation, a decrease in the number of downtime due to difficult-to-predict failures is achieved, which makes it possible to increase the seasonal productivity of PM.

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

REFERENCES

1. 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. Neftegazovoye i gornoye delo*. 2015. No. 14, pp. 82–91. (In Russian).
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. Isaenko V.D., Isaenko A.V., Isaenko P.V. *Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostika avtomobiley: uchebnoe posobie*. [Fundamentals of reliability theory and car diagnostics: textbook]. Tomsk: TGASU, 2007. 240 p.
4. Gorlov I.V., Bolotov A.N. The information component of the peat machine performance management system. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)*. 2013. No. 1, pp. 216–221. (In Russian).
5. 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).
6. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Burmistrova O.N., Yakovlev K.A. Comprehensive assessment of the reliability of logging machines. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013. No. 2. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=8537> (date accessed: 12.08.2020).

Поступила в редакцию/received: 06.08.2020; после рецензирования/revised: 27.10.2020;
принята/accepted 08.11.2020

Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 4 (8), 2020