УДК 622.331.002.5

И.В. Горлов, М.Г. Рахутин

ВЛИЯНИЕ ПНИСТОСТИ ЗАЛЕЖИ НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ ТОРФЯНЫХ МАШИН

Представлены результаты исследования влияния пнистости залежи на безотказность торфяных машин. На основе исследований, проведенных в ОАО «Васильевский мох» получены статистические данные по потоку отказов для основных технологических машин: уборочных, фрезерных барабанов, ворошилок и валкователей. Для каждого типа машин определены количество отказов, рассчитаны среднее время безотказной работы, среднее квадратическое отклонение наработки на отказ, а также среднее время восстановления с учетом ожидания ремонта. Проведенные исследования позволили предложить классификацию отказов торфяных машин по трудоемкости и продолжительности их устранения. Отказы предложено классифицировать по 3 группам сложности. К первой группе сложности отнесены отказы, устраняемые операторами технологических машин, имеющие трудоемкость восстановления до 2-х часов. Ко второй группе сложности отнесены отказы, для устранения которых требовалось участие ремонтной бригады с трудоемкостью восстановления до 8-и часов. К третьей группе сложности отнесены отказы, требующие эвакуации технологических машин с месторождения для ремонта, и имеющие трудоемкость восстановления более 8-и часов. Выявлено, что эксплуатация машин на месторождениях с объемной пнистостью более 2%, приводило к значительному увеличению потока отказов у фрезерных барабанов, ворошилок и валкователей, которые в процессе работы наиболее активно взаимодействуют с торфяной залежью. Для уборочных машин, которые взаимодействуют с уже переработанным торфом, поток отказов практически не менялся. Обосновано, что учет пнистости залежи при планировании и осуществлении технического обслуживания торфяных машин позволяет повысить эффективность производства за счет более полного использования метеоблагоприятных для добычи торфа дней.

Ключевые слова: торфяные машины, надежность, безотказность, ремонт, классификация отказов.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-139-145

В проекте «Энергетической стратегии России на период до 2035 года» предусмотрено использование местных энергетических ресурсов для повышения энергетической безопасности региональных генерирующих систем с акцентом на возобновляемые источники [1, 2]. В большинстве регионов центра России и Сибири таким ресурсом может быть торф, увеличение использования которого в малой энергетике позволит решить эту задачу. Эффективность эксплуатации торфяных машин — комплексная проблема, которая особенно актуальна в настоящее время. Это связано с тем, что затраты на приобретение и эксплуатацию оборудования для торфяной промышленности в структуре себестоимости выпускаемой продукции занимают значительное место [3—6].

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 12. С. 139–145.
© И.В. Горлов, М.Г. Рахутин. 2017.

Таблица 1

Статистические характеристики эксплуатации машин

Тип машин	Среднее время безотказной работы $t_{ср}$, ч	Среднее квадратическое отклонение σ	Среднее время восстановления $t_в$, ч	Среднее квадратическое отклонение от среднего времени восстановления $\sigma_в$, ч	Коэффициент готовности, кг
МТФ-4ЗА	12,5	11,2	6,1	5,9	0,67
МТФ-4ЗА-К	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

Эксплуатация торфяных машин (ТМ) в регионах центра России происходит с середины мая до конца августа, технологический процесс добычи торфа зависит в первую очередь от метеорологических условий [7, 8]. Поэтому наиболее полное использование благоприятных дней для добычи обеспечит наивысшую сезонную производительность и, следовательно, высокую эффективность использования ТМ. Предотвращение отказов, которые в большинстве случаев связаны с повреждениями рабочих органов и элементов несущей системы древесными включениями, находящимися в торфяной залежи, позволяет решить эту задачу.

Для уменьшения простоев необходимо проанализировать причины возникновения отказов и степень их влияния на технологический процесс добычи торфа.

На основе исследований, проведенных в ОАО «Васильевский мох» были получены статистические данные [9] по потоку отказов для ряда торфяных машин, которые эксплуатировались на производственных участках, расположенных на верховом типе залежи второго года эксплуатации со средней степенью разложения торфа 25%, объемной пнистостью 1—2%. Условная влажность собираемого торфа 40%, глубина фрезерования залежи 0,011 м, эксплуатационная влажность 80%.

Исследовались три группы машин: в первую входили четыре уборочных машины МТФ-4ЗА, два фрезерных барабана Ф-6,5, ворошилка ВС-9,6 и валкователь ВТ-9.8; во вторую и третью по четыре уборочных машины МТФ-4ЗА-К, два фрезерных барабана Ф-6,5, ворошилки ВС-9,6 и валкователи ВТ-9.8. Для каждого типа машин определялось количество отказов, рассчитывалось среднее время безотказной работы, среднее квадратическое отклонение наработки на отказ, а также среднее время восстановления с учетом ожидания ремонта (табл. 1).

Проведенные исследования позволили предложить классификацию отказов торфяных машин по трудоемкости и продолжительности их устранения. Отказы предложено классифицировать по 3 группам сложности.

К первой группе сложности отнесены отказы, устраняемые операторами технологических машин, имеющие трудоемкость восстановления до 2-х часов.

Ко второй группе сложности отнесены отказы, для устранения которых требовалось участие ремонтной бригады с трудоемкостью восстановления до 8-и часов.

К третьей группе сложности отнесены отказы, требующие эвакуации технологических машин с месторождения для ремонта, и имеющие трудоемкость восстановления более 8-и часов.

Показатели безотказности торфяных машин по группам сложности представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели безотказности торфяных машин

Наработка моточасов	Число машин	Отказы 1-й группы сложности		Отказы 2-й группы сложности		Отказы 3-й группы сложности	
		Среднее число отказов на машину	Поток отказов, 1/1000 моточасов	Среднее число отказов на машину	Поток отказов, 1/1000 моточасов	Среднее число отказов на машину	Поток отказов, 1/1000 моточасов
Бункерные уборочные машины МТФ-43А, МТФ-43А-К							
0–80	8	—	—	—	—	—	—
80–120	8	0,125	0,001	—	—	—	—
120–160	8	—	—	—	—	—	—
160–200	8	0,125	0,0015	0,125	0,0006	0,125	0,0006
200–240	16	0,063	0,0015	0,063	0,0015	—	—
240–280	16	0,125	0,0031	—	—	—	—
280–320	16	0,188	0,0047	0,125	0,0015	—	—
320–360	16	0,188	0,0047	0,188	0,0047	0,063	0,0004
360–400	16	0,31	0,0078	0,25	0,0062	0,188	0,0047
400–440	16	0,25	0,0062	0,25	0,0062	—	—
960–1000	8	0,38	0,0094	0,125	0,0031	0,125	0,0031
1000–1040	8	0.38	0,0094	0,38	0,0094	0,38	0,0094
1040–1120	8	0,5	0,0125	0,625	0,0078	—	—
1120–1160	8	0,625	0,0156	0,5	0,0125	0,25	0,0031
Фрезерные барабаны Ф-6,5							
0–40	8	—	—	—	—	—	—
40–80	8	0,125	0,0015	—	—	—	—
80–120	8	0,25	0,0062	0,125	0,001	—	—
120–160	8	0,125	0,0031	—	—	0,125	0,0007
160–200	6	0,33	0,0062	0,16	0,002	—	—
200–240	6	0,33	0,0062	—	—	—	—
240–280	6	0,16	0,004	0,3	0,0037	0,3	0,0025
280–320	4	0,5	0,0125	0,25	0,0062	—	—
320–360	4	0,5	0,0125	0,5	0,0125	—	—
360–400	4	0,75	0,0188	—	—	0,25	0,002
640–680	4	0,75	0,0188	1	0,025	—	—
680–720	4	1	0,025	0,75	0,0188	—	—
720–760	4	1,25	0,031	1,25	0,031	0,5	0,004
Ворошилки ВС-9,6							
0–40	3	—	—	—	—	—	—
40–80	3	—	—	—	—	—	—
80–120	6	0,3	0,0025	0,16	0,0013	—	—
120–160	6	—	—	—	—	0,33	0,002
160–200	6	0,3	0,0037	0,33	0,0041	—	—
200–240	6	0,5	0,0125	0,66	0,0165	—	—
240–280	6	0,3	0,0075	0,33	0,0082	0,33	0,0027
280–320	4	0,5	0,0125	0,5	0,0125	—	—
320–360	4	—	—	—	—	0,5	0,0062

Ниже представлены основные отказы.

При эксплуатации уборочных машин МТФ-43 часто происходит остановка из-за заклинивания элеватора древесными остатками, отказы предохранительной муфты элеватора. Отказы были как первой группы сложности (требовалась регулировка фрикционной муфты), так и второй группы (требовалась замена фрикционных накладок и других деталей механизма).

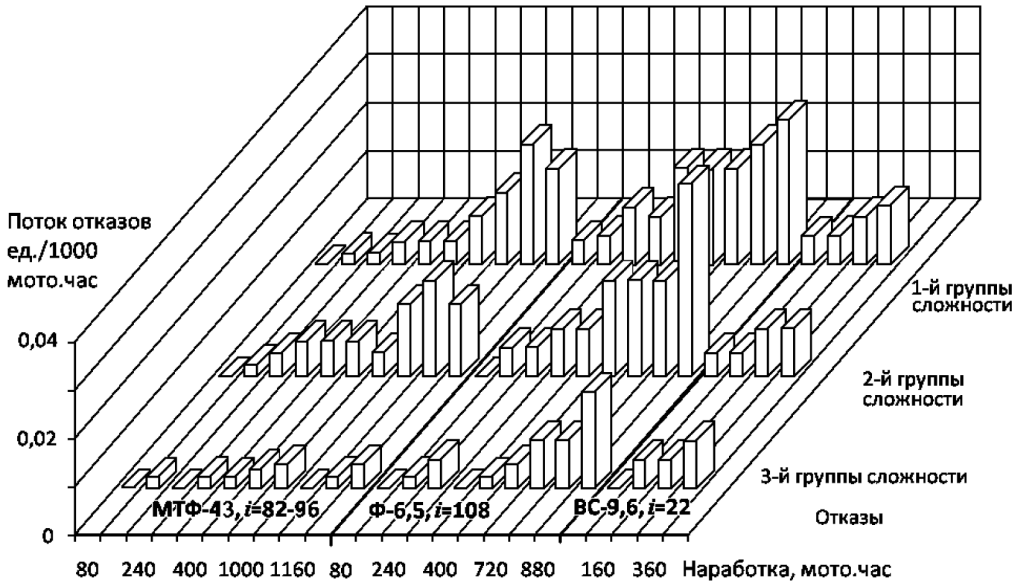
Также фиксировался сход цепи элеватора со звездочек, отказы карданных передач, поломка муфты включения механизма выгрузки, разрыв цепи элеватора и др.

При работе фрезерных барабанов Ф-6,5 наиболее часто происходила остановка фрез из-за буксования или разрушения предохранительных муфт, отказы карданных передач, отказ редуктора привода фрез, поломка режущих элементов и др.

Выход из строя ворошилок происходил в основном из-за попадания древесных включений в залежи. Наиболее часто гнулись лопатки ворошилки, деформировалась и ломалась рама секции, так же происходило заедание в шарнирных механизмах подвески и др.

Анализ результатов исследования позволил выявить основные элементы ТМ, оказывающие влияние на безотказность, и получить зависимость потока отказов от количества таких элементов и наработки. Техническое несовершенство деталей фрикционных передач, муфт привода фрезерующих устройств, трансмиссии, шарнирных механизмов подвески несущей системы, скребков валкователей и других, требует частых сервисных работ по поддержанию работоспособности, что в целом приводит к высокой длительности нахождения машин в обслуживании и ремонте.

Из гистограммы, представленной на рисунке видно, что число отказов торфяной машины зависит не только от наработки, но и от количества элементов, влияющих на безотказность.



Изменение потока отказов ТМ от наработки (i — количество элементов, влияющих на безотказность ТМ)

Установлено, что при наработке уборочных машин МТФ-43 до 400 моточасов, фрезерных барабанов Ф-6,5 и ворошилок ВС-9,6 до 200 моточасов поток отказов первой и второй группы сложности значительно меньше, чем для машин с большей наработкой, а число отказов коррелирует с количеством элементов, влияющих на надежность ТМ [3].

Поток отказов третьей группы сложности для уборочных машин МТФ-43 практически не изменяется с ростом наработки. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что отказы третьей группы сложности зависят не от наработки машины, а от других факторов.

Для выявления причин возникновения отказов третьей группы сложности был проведен анализ условий эксплуатации рассматриваемых машин и было установлено, что рост отказов в большей мере связан с состоянием торфяной залежи, а именно с объемной пнистостью.

На втором этапе исследований машины эксплуатировались на месторождениях с объемной пнистостью более 2%, что приводило к увеличению потока отказов. Особенно это характерно для фрезерных барабанов, ворошилок и валкователей, которые в процессе работы наиболее активно взаимодействуют с торфяной залежью. Уборочные машины взаимодействуют с уже переработанным торфом, поэтому поток отказов третьей группы сложности у них практически не меняется.

Исследованием в ОАО «Васильевский мох» было установлено, что на поток отказов первой и второй группы сложности влияет наработка машины и состояние торфяной залежи. На поток отказов третьей группы сложности, который приводит к наиболее существенным потерям производственного времени, в большей мере влияет наличие древесных включений в залежи.

Устранение отказов третьей группы сложности связано с ремонтом производственных площадей, что приводит к дополнительным затратам, которые должны быть соотнесены с затратами на ремонт оборудования для достижения баланса суммарных затрат на эксплуатацию [10].

По данным многолетних наблюдений среднестатистические затраты времени на восстановление работоспособности торфяных машин составляют до 20% от производственного времени. Для разработки календарных планов работ используются устаревшие методики, которые не позволяют анализировать влияние технического состояния ТМ и периодов с неблагоприятными погодными условиями на процесс добычи, что приводит к ошибкам в сроках проведении работ по восстановлению работоспособности, и как следствие, к снижению объемов добываемого торфа.

Решить данную проблему можно с помощью моделирования эксплуатации на имитационных моделях [11], в которых необходимо использовать функции [12] потока отказов полученные на основе эксплуатационных исследований.

Учет пнистости залежи при планировании и осуществлении технического обслуживания торфяных машин позволяет повысить эффективность производства за счет более полного использования метеоблагоприятных для добычи торфа дней.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wang J.J.*, *Jing Y.Y.*, *Zhang C.F.*, *Zhao J.H.* Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making // Renew. Sustain. Energy Rev. 2009. Vol. 13. No. 9. Pp. 2263—2278. DOI: 10.1016/j.rser.2009.06.021

2. *Wang J.J.*, *Jing Y.Y.*, *Zhang C.F.*, *Shi G.H.*, *Zhang X.T.* A fuzzy multi-criteria decisionmaking model for trigeneration system // Energy Policy. 2008. Vol. 36. No. 10. Pp. 3823—3832. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.07.002

3. *Рахутин М.Г.* Изыскание резервов повышения эффективности эксплуатации оборудования // Уголь. — 2006. — № 5. — С. 44—46.

4. *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.

5. *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.

6. *Хазанович Г.Ш.*, *Черных В.Г.*, *Воронова Э.Ю.*, *Отроков А.В.* О некоторых направлениях разработки эффективного горнопроходческого оборудования // Горное оборудование и электромеханика. — 2013. — № 4. — С. 20—24.

7. *Михайлов А.В.*, *Иванов С.Л.*, *Большунов А.В.*, *Кремчеев Э.А.* Торфяные ресурсы Северо-Западного федерального округа России и перспективы их освоения // Записки Горного института. — 2013. — Т. 200. — С. 226—230.

8. Справочник по торфу / Под. ред. А. В. Лазарева и С. С. Корчунова. — М.: Недра, 1982. — 760 с.

9. Лемешко Б. Ю. Статистический анализ одномерных наблюдений случайных величин. — Новосибирск: НГТУ, 1995. — 125 с.

10. *Lin G.T.*R., *Shen Y.C.* A collaborative model for technology evaluation and decisionmaking // J. Sci. Indus. Res. 2010. Vol. 69. No. 2. Pp. 94—100.

11. *Горлов И.В.*, *Полетаева Е.В.* Прогнозирование эксплуатации технологической машины на основе агрегативной модели // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 10. — С. 218—222.

12. *Fang, Y., Lian, H., Liang, H., Ruppert D.* Variance function additive partial linear models // Electronic Journal of Statistics. 2015. 9(2):2793—2827. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Горлов Игорь Васильевич — доктор технических наук,
доцент, e-mail: gorloviv@yandex.ru,
Тверской государственный технический университет,
Рахутин Максим Григорьевич — доктор технических наук,
профессор, e-mail: mtm98@yandex.ru,
НИТУ «МИСиС».

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 12, pp. 139–145.

UDC 622.331.002.5

I.V. Gorlov, M.G. Rakhutin

EFFECT OF THE PRESENCE OF STUMPS ON NO-FAILURE PERFORMANCE OF PEAT HARVESTING MACHINES

The article presents the results of a study on the impact of deposit stumps on the reliability of peat machines. The study was conducted in JSC «Vasilevsky mokh». The results of the study show failure flow statistics of main technological machines: cleaning, milling drums, agitators and swath collectors. Each type of machine has a number of failures, calculated MTBF, mean square deviation between failures and mean recovery time taking into account repair expectation time. Based on the research results the authors offer a classification of peat machine failures according to complexity and duration of their elimination. Failures are classified by 3 groups of complexity. The first group of complexity includes failures that could be fixed by operators of technological machines with recovery

labor intensity up to 2 hours. The second group of complexity includes failures that require a repair team with recovery labor intensity up to 8 hours to eliminate them. The third group of complexity includes failures that require towing technological machines from a deposit to repair; their recovery labor intensity is more than 8 hours. It was found that technological machine operation on more than 2% volume stump deposits has resulted in a significant increase in a failure rate of milling drums, agitators and swath collectors, which cooperate with the peat deposit actively during the process. The failure flow almost has not changed for cleaning machines that interact with processed peat. The article proves that deposit stump recordkeeping during planning and maintenance of peat machines helps to improve production efficiency through full using of days with productive weather conditions.

Key words: peat machines, reliability, non-failure operation, repair, classification of failures.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-139-145

AUTHORS

Gorlov I.V., Doctor of Technical Sciences,
Assistant Professor, e-mail: gorloviv@yandex.ru,
Tver State Technical University,
170026, Tver, Russia,
Rakhutin M.G., Doctor of Technical Sciences,
Professor, e-mail: mtm98@yandex.ru,
Mining Institute,
National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Wang J.J., Jing Y.Y., Zhang C.F., Zhao J.H. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renew. Sustain. Energy Rev*. 2009. Vol. 13. No. 9. Pp. 2263—2278. DOI: 10.1016/j.rser.2009.06.021

2. Wang J.J., Jing Y.Y., Zhang C.F., Shi G.H., Zhang X.T. A fuzzy multi-criteria decisionmaking model for trigeneration system. *Energy Policy*. 2008. Vol. 36. No. 10. Pp. 3823—3832. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.07.002

3. Rakhutin M.G. *Ugol'*. 2006, no 5, pp. 44—46.

4. Mikhaylov A.V., Ivanov S.L., Gabov V.V. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*. 2015, no 14, pp. 82—91.

5. Mikhaylov A.V., Ivanov S.L., Bondarev Yu.Yu. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU*. 2014, no 3 (202), pp. 229—235.

6. Khazanovich G.Sh., Chernykh V.G., Voronova E.Yu., Otrokov A.V. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2013, no 4, pp. 20—24.

7. Mikhaylov A.V., Ivanov S.L., Bol'shunov A.V., Kremcheev E.A. *Zapiski Gornogo instituta*. 2013. T. 200, pp. 226—230.

8. Spravochnik po torfu. Pod. red. A.V. Lazareva, S.S. Korchunova (Reference book on peat. Lazarev A.V. , Korchunov S.S. (Eds.)), Moscow, Nedra, 1982, 760 p.

9. Lemeshko B.Yu. *Statisticheskiy analiz odnomernykh nablyudeniy sluchaynykh velichin* (Statistical analysis of one-dimensional observations of random quantities), Novosibirsk, NGTU, 1995, 125 p.

10. Lin G.T.R., Shen Y.C. A collaborative model for technology evaluation and decisionmaking. *J. Sci. Indus. Res.* 2010. Vol. 69. No. 2. Pp. 94—100.

11. Gorlov I.V., Poletaeva E.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 10, pp. 218—222.

12. Fang, Y., Lian, H., Liang, H., Ruppert D. Variance function additive partial linear models. *Electronic Journal of Statistics*. 2015. 9(2):2793—2827.