

**ВЕНИАМИН НИКОЛАЕВИЧ ШИЛОВСКИЙ**

доктор технических наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*pitukhin@psu.karelia.ru*

**АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ ПИТУХИН**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии металлов и ремонта, декан лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*pitukhin@psu.karelia.ru*

**ВЕЙККО АРМАСОВИЧ КЯЛЬВИЯЙНЕН**

кандидат технических наук, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*vek-1987@mail.ru*

**ВАДИМ МИХАЙЛОВИЧ КОСТЮКЕВИЧ**

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*vadim9595@yandex.ru*

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Обеспечение уровня эксплуатационной технологичности (ЭТ) лесозаготовительных машин (ЛЗМ) и технологического оборудования является инструментом увеличения эффективности работы лесопромышленного комплекса в целом. Отсутствие нормативно-технических документов по продолжительности и трудоемкости технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта затрудняет организацию рациональной технической эксплуатации ЛЗМ и их конкурентоспособную оценку. Для восполнения данного пробела в работе предлагается комплекс оценочных показателей эксплуатационной технологичности ЛЗМ и рассматриваются методы оценки технологичности при проведении ТО. В ходе экспериментальных исследований для форвардеров «Komatsu» определены величины продолжительности и трудоемкости работ по ТО и рассчитаны значения единичных и комплексного показателей эксплуатационной технологичности. Полученное уравнение зависимости величины оперативной трудоемкости плановых видов ТО от числа операций, видов инструментов и минимальной численности исполнителей может быть использовано для прогнозирования оперативной трудоемкости плановых видов ТО ЛЗМ.

Ключевые слова: эксплуатационная технологичность, лесозаготовительные машины, техническое обслуживание

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из приоритетных направлений повышения эффективности лесопромышленного комплекса Российской Федерации является повышение уровня технической эксплуатации используемых машин и оборудования, в том числе путем совершенствования их эксплуатационной технологичности [1], [3].

Современные ЛЗМ, как отечественного, так и зарубежного производства, не имеют нормативно-технических документов, оговаривающих величины продолжительности и трудоемкости выполнения операций их ТО и текущего ремонта, то есть одних из основных показателей эксплуатационной технологичности машин. Это затрудняет организацию рациональной технической эксплуатации ЛЗМ, конкурентоспособную оценку приобретаемой лесозаготовителями техники.

Исследование и оценка эксплуатационной технологичности ЛЗМ позволяют ранжировать ее уровень у приобретаемых или выпускаемых машин, определять более совершенную технику, внедрять мероприятия по улучшению ЭТ серийных машин, прогнозировать величины параметров ЭТ на стадии проектирования [7].

Для осуществления оценки ЭТ ЛЗМ необходима систематизация факторов, свойств, параметров, обуславливающих и характеризующих ЭТ, разработка методик ее оценки и прогнозирования.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обоснование номенклатуры основных показателей, методик их определения и их оценка являются актуальной задачей в деле повышения эффективности как отечественных, так и зарубежных ЛЗМ. Эта задача в настоящее время, возможно, решается самими производителями

машин, однако ее результаты не придаются широкой огласке, не публикуются, поэтому не могут быть использованы широким кругом заинтересованных организаций и учебных учреждений.

Анализ состояния сравнительной, конкурентоспособной оценки ЭТ отечественных и зарубежных ЛЗМ позволил сформулировать основную цель исследования: для реализации потенциала лесозаготовительного производства путем повышения уровня технической эксплуатации отечественных и зарубежных ЛЗМ необходимо в наибольшей технически возможной и экономически целесообразной мере оценивать и повышать уровень их эксплуатационной технологичности.

На рис. 1 представлен перечень оценочных показателей ЭТ ЛЗМ.

Методы оценки технологичности при ТО включают аналитический, графоаналитический, экспериментально-расчетный, комплексный методы [1], [4].

В основе *аналитического* метода оценки лежит положение о том, что между техническими параметрами, характеризующими конструкцию, и показателями ЭТ существует корреляционная связь. Выявленную корреляционную связь можно представить в виде уравнения регрессии, например:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k,$$

где  $Y$  – оперативная трудоемкость ТО;  $a, b_1, \dots, b_k$  – коэффициенты уравнения регрессии;  $X_1, \dots, X_k$  – конструктивные и эксплуатационно-технологические факторы (число операций ТО, периодичность ТО, число используемых при ТО видов инструментов/приспособлений, численность исполнителей и др.).

По полученным уравнениям регрессии можно определять оперативную трудоемкость ТО на этапе проектирования.

*Комплексный* метод сравнительной оценки разных вариантов конструкций позволяет одн-

временно учесть влияние нескольких показателей ЭТ машин, следовательно, является наиболее показательным методом. Единичные показатели не дают возможности достаточно полно и объективно оценить разные конструкции при их сравнительном анализе. Так, модернизированный узел может иметь большую периодичность ТО по сравнению с прототипом, но низкий коэффициент унификации масел и смазочных материалов, или для узла с высокой степенью доступности к местам ТО необходима большая разновидность применяемого инструмента. Поэтому для более объективной оценки уровня ЭТ ЛЗМ возможно использование комплексного показателя, определяемого по выражению [2]:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n k_o \phi(i)}{\sum_{i=1}^n \phi(i)},$$

где  $k_o$  – относительный показатель значимости;  $i$  – номер единичного оценочного показателя;  $n$  – общее число оценочных показателей;  $\phi(i)$  – функция, нормирующая весомость оценочных показателей, входящих в их ранжированную последовательность.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе разработана методика, обоснованы объекты и условия проведения экспериментальных исследований, в ходе которых впервые определены величины продолжительности и трудоемкости выполнения операций всех плановых видов ТО форвардеров «Komatsu» модели 840.4, перечень используемых инструментов и приспособлений; проведена соответствующая математическая обработка полученных результатов с интервальной оценкой их точности. В качестве исследуемых выбраны плановые виды ТО форвардеров, поскольку они являются наиболее насыщенными по числу и сложности выполняемых операций, а также имеют фиксированную периодичность

Показатели эксплуатационной технологичности ЛЗМ		
<p><b>Экономические показатели (в целом характеризующие уровень ЭТ):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• суммарная оперативная продолжительность ТО;</li> <li>• суммарная оперативная трудоемкость ТО;</li> <li>• суммарная оперативная стоимость ТО с учетом их удельных значений за единицу наработки</li> </ul>	<p><b>Организационно-технические показатели (отражающие принятую планово-предупредительную систему ТО):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• средневзвешенная периодичность ТО;</li> <li>• число видов ТО;</li> <li>• число операций ТО;</li> <li>• численность исполнителей при ТО</li> </ul>	<p><b>Технологические показатели (характеризующие совершенство конструкции):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• коэффициент доступности составных частей машины;</li> <li>• число видов / коэффициент унификации инструмента;</li> <li>• число видов / коэффициент унификации масел и смазочных материалов;</li> <li>• число заправочных емкостей и точек смазывания;</li> <li>• число встроенных контрольных приборов</li> </ul>

Рис. 1. Комплекс оценочных показателей ЭТ ЛЗМ

проведения (в моточасах) и могут быть суммарно оценены за определенную наработку.

Исследования проводились в условиях рядовой эксплуатации машин при поддержке лесозаготовительного предприятия ЗАО «Шуялес». На основании полученных данных по величинам продолжительностей и трудоемкостей выполнения операций плановых видов ТО форвардеров «Komatsu» 840.4 определены средние значения оперативных продолжительностей и трудоемкостей выполнения каждого планового вида ТО исследуемых машин (табл. 1). Различия в значениях продолжительностей и трудоемкостей указывают на то, что при выполнении некоторых операций требуется участие более одного исполнителя.

Из рис. 2 видно, что наибольшая фактическая трудоемкость работ по техническому обслуживанию приходится на периодичность 25 и 50 часов.

В табл. 2 приведены полученные значения единичных оценочных показателей ЭТ форвардеров «Komatsu» 840.4 и тракторов ТБ-1М15 согласно применяемой комплексной методике. Данные по трактору ТБ-1М15 принимались согласно материалам, представленным в [4], [5].

Значение комплексного (обобщающего) оценочного показателя:

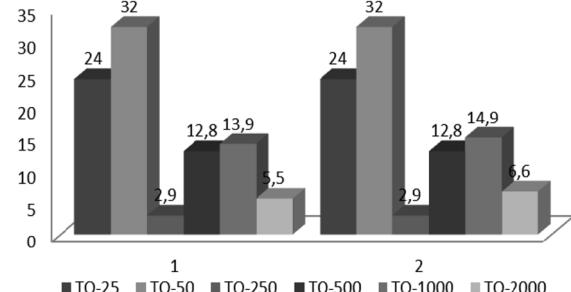


Рис. 2. Оперативная продолжительность 1 (трудоемкость 2) технического обслуживания

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n k_o \cdot \phi(i)}{\sum_{i=1}^n \phi(i)} = \frac{5,4}{3,75} = 1,44 > 1.$$

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного анализа можно заключить:

1. По большинству из рассмотренных оценочных показателей ЭТ (оперативной трудоемкости ТО, числу операций, числу встроенных конт-

Средние оперативные продолжительности и трудоемкости плановых видов ТО форвардеров «Komatsu» 840.4

Вид ТО (условное обозначение)	Оперативная продолжительность ТО данного вида (сумм. за цикл), час	Оперативная трудоемкость ТО данного вида (сумм. за цикл), чел. час	Число раз выполнения ТО за весь цикл
ТО через 25 моточасов ( $TO_{25}$ )	0,3 [24]	0,3 [24]	80
ТО через 50 моточасов ( $TO_{50}$ )	0,8 [32]	0,8 [32]	40
ТО через 250 моточасов ( $TO_{250}$ )	0,8 / 0,3* [2,9]	0,8 / 0,3* [2,9]	1 / 7
ТО через 500 моточасов ( $TO_{500}$ )	3,4 / 3* [12,8]	3,4 / 3* [12,8]	2 / 2
ТО через 1000 моточасов ( $TO_{1000}$ )	7,7 / 6,2* [13,9]	8,2 / 6,7* [14,9]	1 / 1
ТО через 2000 моточасов ( $TO_{2000}$ )	5,5 [5,5]	6,6 [6,6]	1
Общее за цикл 2000 моточасов	91	93	

Примечание. \* – без выполнения некоторых операций (выполняются не каждый раз).

Величины единичных оценочных показателей ЭТ сравниваемых ЛЗМ

Номер (i) единичного оценочного показателя	Единичный оценочный показатель ЭТ	Значение единичного оценочного показателя		Функция $\phi(i)$	$k_o \times \phi(i)$
		Komatsu 840.4	Трактор ТБ-1М15		
1	Суммарная оперативная трудоемкость плановых видов ТО (за цикл 2000 моточасов), чел. час	93	141	1	1,52
2	Средневзвешенная периодичность плановых видов ТО	89	208	1	0,43
3	Число всех видов ТО Число плановых видов ТО	8 6	6 3	0,75	0,56 0,38
4	Число операций всех видов ТО Число операций плановых видов ТО	61 50	86 65	0,5	0,71 0,65
5	Число встроенных контрольных приборов	25	10	0,31	0,78
6	Число видов инструмента/приспособлений, используемых при плановых видах ТО	17	33	0,19	0,37
	Итого			3,75	5,4

Таблица 2

рольных приборов, числу видов инструмента/приспособлений) форвардеры «Komatsu» 840.4 имеют предпочтительные значения в сравнении с тракторами ТБ-1М15.

2. В результате сравнительной комплексной оценки уровня приспособленности сравниваемых ЛЗМ к выполнению операций их ТО, одновременно учитываящий влияние целого ряда параметров, обобщающий показатель (Q) получился равным 1,44 (>1), что, согласно базисной системе оценок данной методики, говорит о преимуществе общего уровня ЭТ (при проведении ТО) форвардеров «Komatsu» в сравнении с тракторами «ОТЗ».

Полученное уравнение зависимости величины оперативной трудоемкости плановых видов ТО (Y) форвардеров «Komatsu» 840.4 от числа операций ТО ( $X_1$ ), числа видов инструментов/приспособлений ( $X_2$ ) и минимальной численности

исполнителей ( $X_3$ ), которое может быть использовано для прогнозирования оперативной трудоемкости плановых видов ТО модернизированных форвардеров:

$$Y = -5,747 + 0,222X_1 - 0,119X_2 + 4,869X_3.$$

Коэффициент детерминации данного уравнения  $R^2 = 0,997$ , или 99,7 %. Критическое значение на уровне значимости 0,05 в случае  $n = 6$  наблюдений (видов ТО) и  $k = 3$  X-переменных дает  $R^2 = 0,966$ , или 96,6 %. Поскольку полученное значение  $R^2$  больше критического, регрессию следует признать значимой. Также, по F-тесту данной методики, полученное p-значение (значимость F) менее 0,05 (0,0049 < 0,05), а значение F больше критического в F-таблице (205,102 > 19,164), что подтверждает значимость полученной модели.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- К яльви яйн В. А. Оценка эксплуатационной технологичности лесозаготовительных машин: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2013. 24 с.
- М и х л и н В. М., Д и к о в К. И., С т а р и к о в О. М. и др. Эксплуатационная технологичность конструкций тракторов. М.: Машиностроение, 1982. 256 с.
- П и т у х и н А. В., Ш и л о в с к и й В. Н., С к о б ц о в И. Г., К яльви яйн В. А. Повышение эксплуатационной технологичности лесозаготовительных машин. Петрозаводск: Петропресс, 2012. 240 с.
- Положение о техническом обслуживании и ремонте машин и оборудования лесозаготовительной промышленности /ОНТИ ЦНИИМЭ. Химки, 1990. 287 с.
- Ш и л о в с к и й В. Н., П и т у х и н А. В., К о с т ю к е в и ч В. М. Организация ТО зарубежной лесозаготовительной техники // Электронный журнал «Resources and Technologies». 2013. Вып. 10 (2). С. 129–150 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rt.petrsu.ru/files/pdf/2621.pdf>
- Ш и л о в с к и й В. Н., П и т у х и н А. В., Ф р о л о в А. А., С е р е б р я н с к и й Н. И. Технологический сервис машин и оборудования: Справочные материалы. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 114 с.
- Leiviska K. Process and Maintenance Management. 2nd edition. Published by Finish Paper Engineers' Association. 2009. 379 p.

Shilovskiy V. N., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Pitukhin A. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Kyal'viyaynen V. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Kostyukevich V. M., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

#### PROVISION OF FOREST MACHINES' MAINTAINABILITY AND RELIABILITY

Improvement of the forest machines (FM) and processing equipment maintainability is a tool helping to increase efficiency of the timber industry as a whole. The lack of regulatory and technical documents on the duration and complexity of maintenance creates difficulties for the organization of rational technical operation of FM and their competitive pricing. To fill this gap a set of performance indicators of FM maintainability is proposed in the paper. Methods for assessing manufacturability during maintenance are discussed. Duration and magnitude of the complexity of activities of maintenance are defined and values of single and integrated maintainability indicators are calculated in experimental studies for forwarders "Komatsu". The resulting equation of the dependence of the complexity of operational planning of maintenance on the number of operations, types of tools, and a minimum number of performers can be used to predict complexity of operational planning of FM maintenance.

Key words: maintainability, forest machines, maintenance

#### REFERENCES

- K y a l ' v i y a y n e n V. A. Otsenka ekspluatatsionnoy tekhnologichnosti lesozagotovitel'nykh mashin: Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk [Rating maintainability of forest machines]. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2013. 24 p.
- M i k h l i n V. M., D i k o v K. I., S t a r i k o v O. M. i d r. Ekspluatatsionnaya tekhnologichnost' konstruktsiy traktorov [Maintainability of tractors designs]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1982. 256 p.
- P i t u k h i n A. V., S h i l o v s k i y V. N., S k o b t s o v I. G., K y a l ' v i y a y n e n V. A. Povyshenie ekspluatatsionnoy tekhnologichnosti lesozagotovitel'nykh mashin [Increasing maintainability of forest machines]. Petrozavodsk, Petropress Publ., 2012. 240 p.
- Polozhenie o tekhicheskem obsluzhivanii i remonte mashin i oborudovaniya lesozagotovitel'noy promyshlennosti [Regulations on the maintenance and repair of the logging industry machinery and equipment] / ONTI TsNIIME. Khimki, 1990. 287 p.
- Sh i l o v s k i y V. N., P i t u k h i n A. V., K o s t y u k e v i c h V. M. Organization of foreign logging equipment maintenance [Organizatsiya TO zarubezhnoy lesozagotovitel'noy tekhniki]. Resources and Technologies. 2013. Vol. 10. № 2. Available at: <http://rt.petrsu.ru/files/pdf/2621.pdf>
- Sh i l o v s k i y V. N., P i t u k h i n A. V., F r o l o v A. A., S e r e b r y a n s k i y N. I. Tekhnologicheskiy servis mashin i oborudovaniya: Spravochnye materialy [Technological service machines and equipment: Reference materials]. Petrozavodsk, 2008. 114 p.
- Leiviska K. Process and Maintenance Management. 2nd edition. Published by Finish Paper Engineers' Association. 2009. 379 p.

Поступила в редакцию 13.03.2014