

УДК 630.32

DOI: 10.15393/j2.art.2019.4642

Статья

О значимости факторов, определяющих трудоёмкость обслуживания лесных машин

Вениамин Н. Шиловский¹, Александр В. Питухин¹ и Евгений А. Питухин^{1,*}

¹ Петрозаводский государственный университет, Россия, 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33; E-Mails: taveshi@onego.ru (В. Ш.); pitukhin@petsu.ru (А. П.); eugene@petsu.ru (Е. П.)

* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: eugene@petsu.ru (Е. П.);
Tel.: +79212246297

Получена: 26 апреля 2019 / Принята: 31 мая 2019 / Опубликовано: 6 июня 2019

Аннотация: В статье представлена апробированная методика оценки значимости факторов, определяющих трудоёмкость технического обслуживания лесных машин. Для оценки факторов использован двухфакторный дисперсионный анализ условия выполнения технических воздействий. Производительность технического обслуживания и ремонта зависит от многих факторов: механовооружённости ремонтно-обслуживающей базы, квалификации и стажа ремонтных рабочих, возраста и наработки машин и других производственно-климатических условий. В себестоимости продукции лесного комплекса до 30 % составляют затраты, связанные с технической эксплуатацией машин и оборудования. Исследования значимости, использование, а иногда и изменение факторов, влияющих на эти затраты, являются актуальными, особенно в современных рыночных условиях. На конкретном примере осуществлена оценка значимости стажа специалистов, выполняющих техническое обслуживание машин, и величины наработки в моточасах, достигнутой этими машинами в рядовой эксплуатации. Применение дисперсионного анализа позволяет оценить влияние качественных и количественных факторов. Сущность исследования значимости факторов заключается в разложении полной дисперсии на сумму дисперсий. Влияние каждого фактора на изучаемый признак оценивается его вкладом в полную дисперсию. Апробация сравнительной оценки значимости стажа ремонтных рабочих и суммарной наработки обслуживающих машин осуществлена на примере сучкорезных машин ЛП-30Б. Материалом для исследований явились данные хронометражных наблюдений Карельского НИИ лесной промышленности,

проводимых в рамках разработки положения о техническом обслуживании и ремонте машин и оборудования лесозаготовительной промышленности. Проведённые исследования показали, что величина выработанного машиной ресурса наиболее значима по сравнению со значимостью стажа работы специалистов, выполняющих техническое обслуживание. Исследуя подобным образом все факторы, характеризующие условия технической эксплуатации машин и оборудования, можно определить перечень наиболее значимых и их использовать при организации эффективного технического обслуживания и ремонта машин. Дальнейшее развитие работы заключается в определении значимости уровня квалификации специалистов, вида предприятия или цеха, где можно проводить работы, и уровня их оснащённости диагностическим и ремонтным оборудованием. Для комплексного сравнительного анализа значимости факторов может быть применён многофакторный дисперсионный анализ.

Ключевые слова: технические воздействия, техническое обслуживание, трудоёмкость, значимость факторов, дисперсионный анализ.

DOI: 10.15393/j2.art.2019.4642

Article

About the significance of the factors determining laboriousness of forest machines maintenance

Veniamin Shilovsky¹, Alexander Pitukhin¹ and Eugene Pitukhin^{1,*}

¹ Petrosavodsk State University, Russia, 185910, Respublika Karelia, Petrozavodsk, pr. Lenina, 33;
E-Mails: E-Mails: taveshi@onego.ru (V. S.); pitukhin@petsru.ru (A. P.); eugene@petsru.ru (E. P.)

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: eugene@petsru.ru (E. P.);
Tel.: +79212246297

Received: 26 April 2019 / Accepted: 31 May 2019 / Published: 6 June 2019

Abstract: The article presents a proven method of estimating the significance of factors that determine the laboriousness of forest machines maintenance. To estimate the factors used two-factor analysis of variance of the technical impact conditions. The performance of maintenance and repair depends on many factors: the mechanical equipment of the repair and maintenance base, the qualification and experience of repair workers, the age and operating time of machines and other production and climatic conditions. In the cost of production of the forest complex up to 30 % of the costs associated with the technical operation of machinery and equipment. Studies of significance, use, and sometimes change of factors affecting these costs are relevant, especially in modern market conditions. In the article a specific example was carried out to estimate the significance of the experience of professionals who perform maintenance of machines, and amount of work hours achieved by those machines in ordinary use. The use of analysis of variance allows us to estimate the impact of qualitative and quantitative factors. The essence of the study of the significance of factors is to decompose the total variance by the sum of the variances. The impact of each factor on the studied feature is estimated by its contribution to the total variance. Approbation of a comparative estimation of the significance of the experience of repair workers and the total operating time of servicing machines is carried out on the example of the LP-30B cutting machines. The material for the research was the data of time observations of the Karelian Research Institute of the Forest Industry, conducted in the framework of the development of regulations on maintenance and repair of machinery and equipment of the logging industry. Studies have shown that the magnitude of the generated machine online the most significant compared to the significance of the work experience of the professionals performing the maintenance.

Examining in this way all the factors that characterize the conditions of technical operation of machines and equipment, you can determine the list of the most significant and use them in the organization of effective maintenance and repair of machines. Further development of the work is to determine the significance of the level of qualification of specialists, the type of enterprise or workshop where the work can be carried out, and the level of their equipment with diagnostic and repair equipment. For a comprehensive comparative analysis of the significance of factors, multivariate analysis of variance can be applied.

Keywords: technical impact, maintenance, laboriousness, significance of factors, analysis of variance.

1. Введение

Затраты на техническую эксплуатацию, в первую очередь на техническое обслуживание (ТО) и ремонт (Р) лесных машин и оборудования, являются значительной (до 30 %) частью затрат в себестоимости продукции лесного комплекса. Исследование факторов, влияющих на эти затраты, является актуальной задачей повышения уровня и эффективности технической эксплуатации машин и оборудования и объективного назначения норм, места и условий проведения ТО и Р [1—5].

Условия, определяющие производительность по проведению ТО и Р, включают, в первую очередь, механовооружённость ремонтно-обслуживающей базы (РОБ) предприятия, квалификацию и стаж рабочих, возраст и наработку машин и оборудования, место проведения технических воздействий (полевые условия, ремонтно-механические мастерские, специализированные предприятия технического сервиса и ремонта) [6], [9—11].

В статье представлена и апробирована методика исследования факторов ремонтпригодности (эксплуатационной технологичности) машин методом двухфакторного дисперсионного анализа. На конкретном примере осуществлена оценка влияния на трудоёмкость ТО машин, стажа выполняющих работу специалистов и величины выработанного ресурса обслуживаемой техники. Представленная методика может быть применена к оценке степени влияния и других факторов, влияющих на ремонтпригодность машин, как одного из параметров (показателей) их эксплуатационной технологичности [3], [9].

Цель статьи — обоснованная и апробированная методика оценки значимости факторов, влияющих на показатели ремонтпригодности как одного из свойств, определяющих уровень эксплуатационной технологичности машин и оборудования.

2. Материалы и методы

Выявить и оценить факторы, влияющие на показатели ремонтпригодности машин, возможно путём проведения и статистического анализа данных специальных экспериментов и эксплуатационных наблюдений методами математического аппарата дисперсионного и факторного анализа [6], [7], [9].

Применение тех или иных методов обуславливается характером исследуемых факторов; количеством исследуемых факторов; необходимостью оценки существенности влияния взаимодействия факторов.

Применение дисперсионного анализа позволяет оценить влияние на исследуемый признак рассматриваемых факторов и их взаимодействие. Сущность исследования значимости влияния факторов на рассматриваемый признак, например продолжительность и трудоёмкость ремонта или технического обслуживания, заключается в разложении полной дисперсии, характеризующей изменчивость признака в результате изменения рассматриваемой совокупности факторов, на сумму дисперсий, обусловленных влиянием каждого из

исследуемых факторов или их взаимодействий. При этом влияние каждого фактора на изучаемый признак оценивается его вкладом в полную дисперсию. Следовательно, можно составить выражение для полной дисперсии в следующем виде [6]:

$$\sigma_n^2 Y = \sum_{i=1}^l \alpha_i \sigma_i^2 Y + \sigma_{\text{ош}}^2 Y ,$$

где Y — исследуемый признак (в рассматриваемом случае трудоёмкость технического обслуживания);

$\sigma_n^2 Y$ — полная дисперсия, характеризующая изменчивость признака Y ;

l — количество исследуемых факторов и их взаимодействий;

$\sigma_i^2 Y$ — дисперсия, характеризующая изменчивость признака в результате изменения i -го фактора;

α_i — коэффициент, зависящий от объёма наблюдений;

$\sigma_{\text{ош}}^2 Y$ — дисперсия, характеризующая ошибку наблюдений.

Отбор значимых факторов и их взаимодействий осуществляется по значению дисперсионного отношения и сопоставлением его значения со значением F -критерия, определяемого при уровне значимости α и числах степеней свободы f_i, f_j , соответствующих дисперсий числителя и знаменателя, т. е.

$$F_i = \frac{\sigma_i^2 Y}{\sigma_j^2 Y} > F_{\alpha} f_i; f_j ,$$

где $\sigma_j^2 Y$ — дисперсия, с которой сравнивается дисперсия числителя для выявления существенности рассматриваемых факторов или их взаимодействий.

При двухфакторном дисперсионном анализе модель планирования и анализа результатов наблюдения имеет вид [6], [8]:

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + A_i B_j + \varepsilon_{k i, j} ,$$

где A_i и B_j — основные эффекты факторов A и B , соответствующие уровням i $i = 1, 2, \dots, a$ и j $j = 1, 2, \dots, b$;

$A_i B_j$ — эффект взаимодействия факторов A и B ;

a и b — число уровней факторов;

k — число наблюдений в каждом варианте эксперимента, $k = 1, 2, \dots, n$;

$\varepsilon_{k i, j}$ — ошибка, соответствующая k -му наблюдению при уровнях факторов i и j .

Общее число наблюдений в таком эксперименте $N = a \cdot b \cdot n$. Для выделения основных эффектов взаимодействия факторов и ошибки эксперимента необходимо разложить разность $y_{ijk} - \bar{y}$. Для этого используем применяемые в дисперсионном анализе точечные обозначения для усреднения величин по соответствующему индексу i, j, k . В этих обозначениях разность $y_{ijk} - \bar{y}$ можно представить в следующем виде [9]:

$$y_{ijk} - \bar{y} = y_{i..} - \bar{y} + y_{.j.} - \bar{y} + y_{ij.} - y_{i..} - y_{.j.} + \bar{y} + y_{ijk} - y_{ij.} .$$

Возведя полученное выражение в квадрат, просуммировав по i, j и k , отбросив члены, равные нулю, получим:

$$y_{ijk} - y_{...}^2 = nb \sum_{i=1}^a y_{i..} - y_{...}^2 + na \sum_{j=1}^b y_{.j.} - y_{...}^2 + n \sum_{i,j} y_{ij.} - y_{i..} - y_{.j.} + y_{...}^2 + \sum_{i,j,k} y_{ijk} - y_{ij.}^2.$$

Обозначая суммы квадратов через Q_i , получим:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

где Q — полная сумма квадратов, для которой число степеней свободы $f_n = N - 1$;

Q_1 и Q_2 — суммы квадратов отклонений, характеризующих влияние факторов A и B . Для них $f_a = a - 1$, $f_b = b - 1$;

Q_3 — сумма квадратов, характеризующих влияние эффекта взаимодействия факторов, $f_{AB} = a - 1 \cdot b - 1$;

Q_4 — сумма квадратов, характеризующая ошибку наблюдений.

Разделив суммы квадратов на соответствующие им степени свободы, получим средние квадраты, которые будут несмещёнными оценками неизвестных дисперсий.

Для оценки значимости факторов A , B и их взаимодействия необходимо соответствующие им средние квадраты $S_1^2 Y$, $S_2^2 Y$ и $S_3^2 Y$ поделить на $S_{\text{ош}}^2 Y$ и сравнить с критическим значением F -критерия, взятого при уровне значимости α и числе степеней свободы f_i и $f_{\text{ош}}$.

Если $F_i = \frac{S_i^2 Y}{S_{\text{ош}}^2 Y} > F_{\alpha} f_i; f_{\text{ош}}$, то влияние рассматриваемого i -го эффекта на изменение характеристики ремонтпригодности является существенным, и его необходимо учитывать при решении различных вопросов обслуживания и ремонта машин.

Для вычисления значений сумм квадратов отклонений используются следующие формулы [6], [7]:

$$Q = \sum_{i,j,k} y_{ijk} - y_{...}^2 = \sum_{i,j,k} y_{ijk}^2 - \frac{1}{N} \sum_{i,j,k} y_{ijk}^2 ;$$

$$Q_1 = nb \sum_{i=1}^a y_{i..} - y_{...}^2 = \frac{1}{nb} \sum_{i=1}^a y_{\Sigma,i}^2 - \frac{1}{N} \sum_{i,j,k} y_{ijk}^2 ;$$

$$Q_2 = na \sum_{j=1}^b y_{.j.} - y_{...}^2 = \frac{1}{na} \sum_{j=1}^b y_{\Sigma,j}^2 - \frac{1}{N} \sum_{i,j,k} y_{ijk}^2 ;$$

$$Q_3 = n \sum_{i,j} y_{ij.} - y_{i..} - y_{.j.} + y_{...}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i,j} y_{\Sigma ij}^2 - \frac{1}{nb} \sum_{i,j,k} y_{ijk}^2 + \frac{1}{na} \sum_{j=1}^b y_{\Sigma j}^2 + \frac{1}{N} \sum_{i,j,k} y_{ijk}^2 ;$$

$$Q_4 = \sum_{i,j,k} y_{ijk} - y_{ij} \cdot 2 = \sum_{i,j,k} y_{ijk}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i,j} y_{\Sigma,i,j}^2,$$

где $y_{\Sigma i}$, $y_{\Sigma j}$ и $y_{\Sigma ij}$ — соответственно суммы наблюдений для i -го и j -го уровней и сумма наблюдений в ячейках i, j таблицы результатов наблюдений.

3. Результаты

Для апробации методики использованы материалы хронометражных наблюдений за техническими воздействиями над тракторами ОТЗ и лесными машинами на их базе, полученные лабораторией надёжности, ремонта и испытания машин Карельского НИИ лесной промышленности в рамках подготовки нормативов по ТО и ремонту машин, изложенных в Положении о техническом обслуживании и ремонте машин и оборудования лесозаготовительной промышленности.

В качестве экспериментальных данных принята трудоёмкость сезонного обслуживания сучкорезных машин ЛП-30Б четырьмя группами специалистов ($a = 4$) с различными величинами стажа работы в годах: 5, 10, 15, 20, т. е. в соотношении 1: 2: 3: 4. Обслуживание проходили две группы машин, выработавших свой ресурс, — соответственно 1500 и 3000 моточасов, т. е. в соотношении 1: 2 ($b = 2$).

Оценим существенность влияния на трудоёмкость ТО производственного стажа работы исполнителей (фактор А) и величины выработанного ресурса машинами (фактор В). Каждый вариант обслуживания повторялся четыре раза ($n = 4$).

Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Трудоёмкость техобслуживания, чел.-ч.

Уровни факторов		Фактор А				Уровни факторов		Фактор А			
		I	II	III	IV			I	II	III	IV
Фактор В	I	9,00	9,16	9,33	8,16	Фактор В	II	9,50	9,83	9,66	9,33
		9,66	9,33	8,33	8,33			9,50	10,66	8,83	9,50
		9,16	9,00	8,83	9,33			10,00	9,66	10,16	9,33
		9,16	8,66	8,83	8,66			10,83	9,33	9,00	8,33

Для облегчения вычислений результаты наблюдений приведены не в натуральном масштабе, а уменьшены на 8, т. е. даны в кодированном виде (таблица 2).

Определяем значения Q , Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 , согласно ранее приведённым формулам, и получаем: $Q = 11,92$; $Q_1 = 2,59$; $Q_2 = 3,46$; $Q_3 = 0,13$; $Q_4 = 5,74$.

Таблица 2. Результаты наблюдений в кодированном виде

Уровни факторов		Фактор А				$y_{\Sigma,j}$
		I	II	III	IV	
Фактор В	I	1,00	1,16	1,33	0,16	14,93
		1,66	1,33	0,33	0,33	
		1,16	1,00	0,83	1,33	
		1,16	0,66	0,83	0,66	
	Сумма	4,98	4,15	3,32	2,48	
	II	1,50	1,83	1,66	1,33	25,45
		1,50	2,66	0,83	1,50	
		2,00	1,66	2,16	1,33	
		2,83	1,33	1,00	0,33	
	Сумма	7,83	7,48	5,65	4,49	
$y_{\Sigma,j}$		12,81	11,63	8,97	6,97	$y_{ijk} = 40,38$ <i>ij,k</i>
y_{ik}^2 <i>i,k</i>		22,93	19,45	12,31	8,18	$y_{ijk}^2 = 62,87$ <i>ij,k</i>

Результаты дисперсионного анализа приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа

Источник изменчивости	Число степеней свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат
Фактор А	$f_a = a - 1 = 3$	$Q_1 = 2,59$	0,85
Фактор В	$f_b = b - 1 = 1$	$Q_2 = 3,46$	3,46
Взаимодействие АВ	$f_{AB} = a - 1 \cdot b - 1 = 3$	$Q_3 = 0,13$	0,04
Ошибка	$= N - a \cdot b = 24$	$Q_4 = 5,74$	0,23
Сумма	31	11,92	–

Проверяем гипотезу о значимости исследуемых факторов при $\alpha = 0,05$, используя формулы для факторов с фиксированными уровнями.

В результате вычислений следует:

$$F_A = \frac{S_1^2 Y}{S_{\text{ош}}^2 Y} = \frac{0,85}{0,23} = 3,73 > F_{0,05} 3; 24 = 3,009$$
$$F_B = \frac{S_2^2 Y}{S_{\text{ош}}^2 Y} = \frac{3,46}{0,23} = 15,04 > F_{0,05} 1; 24 = 4,26$$
$$F_{AB} = \frac{S_3^2 Y}{S_{\text{ош}}^2 Y} = \frac{0,043}{0,23} = 0,18 < F_{0,05} 3; 24 = 3,009$$

4. Обсуждение и заключение

Согласно данным о значимости факторов, следует, что фактор В (величина выработанного ресурса) оказывает более существенное влияние ($F_6 = 15,04$) на трудоёмкость обслуживания по сравнению с фактором А (стажа работы исполнителя). Оба фактора являются значимыми. Влияние взаимодействия факторов не существенно.

Оценки дисперсий исследуемых факторов равны [6]:

$$S_A^2 Y = \frac{1}{n \cdot b} S_1^2 Y - S_{\text{ош}}^2 Y = 0,07,$$
$$S_B^2 Y = \frac{1}{n \cdot a} S_2^2 Y - S_{\text{ош}}^2 Y = 0,20.$$

Полная дисперсия, определяющая влияние факторов А и В, равна:

$$S_n^2 Y = S_A^2 Y + S_B^2 Y + S_{\text{ош}}^2 Y = 0,50.$$

Изменчивость трудоёмкости обслуживания машин в рассматриваемых условиях на $\frac{0,07}{0,50} \cdot 100 \cong 14\%$ обусловлена влиянием фактора А (стажем работы специалистов) и на $\frac{0,20}{0,50} \cdot 100 \cong 40\%$ изменчивостью фактора В (величиной выработки ресурса машиной). Другие (неучтённые) факторы влияют на 46 % на трудоёмкость ТО исследуемых машин.

По результатам исследования можно дать следующие выводы и рекомендации:

1. Величина выработанного ресурса наиболее значимо влияет на трудоёмкость технического обслуживания и ремонта.
2. Исследуя подобным образом все факторы, характеризующие условия эксплуатации машин и оборудования, можно определить перечень наиболее значимых и воздействовать на их значения при организации ТО и Р, как в условиях рядовой эксплуатации, так и в рамках специализированных предприятий технического сервиса и ремонта, и определить наиболее рациональное (оптимальное) место проведения технических воздействий, уровень механовооружённости (оснащённости) ремонтно-обслуживающей базы предприятий.
3. Дальнейшее развитие работы заключается в расширении номенклатуры исследуемых факторов, в первую очередь таких, как уровень квалификации специалистов, выполняющих ТО и Р, и вид предприятия (цеха), где они проводятся.

Список литературы

1. Anily, S. Capacitated two-stage multi-item production model with joint setup cost / S. Anily, A. Federgruen // *Operations Research*. — 1991. — № 3. — P. 244—254.
2. Gerasimov, Yu. Yu. Development Trends and Future Prospects of Cut-to-length Machinery / Yu. Yu. Gerasimov, A. P. Sokolov, V. S. Syunev // *Advanced Materials Research*. — 2013. — Vol. 705. — P. 468—473/ DOI 10.4028/ www.scientific.net / AMR. 705. 468.
3. Запруднов, В. И. Потребность парка лесосечных машин в техническом обслуживании / В. И. Запруднов, С. П. Карпачев, М. А. Быковский // *Лесной Вестник / Forestry Bulletin*. — Мытищи, 2017. — Т. 21, № 2. — С. 76—79.
4. Методика формирования поставки многономенклатурного комплекта запасных частей / А. В. Питухин, В. Н. Шиловский, В. М. Костюкевич, В. В. Власов // *Лесной Вестник / Forestry Bulletin*. — Мытищи, 2018. — Т. 22, № 2. — С. 61—67.
5. Saleh A. Al-Suhaibani. Farm tractors breakdown classification / Saleh A. Al-Suhaibani, Mohamed F. Wahby // *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. — 2017. — № 16 (3). — P. 294—298.
6. Ремонтпригодность машин / А. И. Аристов, П. Н. Волков, Л. Г. Дубовицкий [и др.] ; под ред. П. Н. Волкова. — Москва : Машиностроение, 1975. — 368 с.
7. Хьютсон, А. Дисперсионный анализ : пер. с англ. — Москва : Статистика, 1971. — 88 с.
8. Хикс, Ч. Основные принципы планирования эксперимента : пер. с англ. — Москва : Мир, 1967. — 406 с.
9. Шиловский, В. Н. Маркетинг и менеджмент технического сервиса машин и оборудования / В. Н. Шиловский, А. В. Питухин, В. М. Костюкевич. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 272 с.
10. Generating interference matrices for automatic assembly sequence planning / W. Zhang, M. Ma, H. Li, J. Ju // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. — April 2017. — Vol. 90. — Issue1—4. — P. 1187—1201.
11. James, A. T. Development of methodology for the disassemblability index of automobile systems using a structural approach / A. T. James, O. P. Gandhi, S. G. Deshmukh // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. — 2017. — № 231 (4). — P. 516—535.

References

1. Anily, S. Capacitated two-stage multi-item production model with joint setup cost / S. Anily, A. Federgruen // *Operations Research*. — 1991. — № 3. — P. 244—254.
2. Gerasimov, Yu. Yu. Development Trends and Future Prospects of Cut-to-length Machinery / Yu. Yu. Gerasimov, A. P. Sokolov, V. S. Syunev // *Advanced Materials Research*. — 2013. — Vol. 705. — P. 468—473/ DOI 10.4028/ www.scientific.net / AMR. 705. 468.
3. Zaprudnov, V. I. Need Park logging machines maintenance // V. I. Zaprudnov, S. P. Karpachev, M. A. By`kovskij // *Forestry Bulletin*. — 2017. — Vol. 21, № 2. — P. 76—79.
4. Pitukhin, A. V. Methods of forming the supply of a multi-component set of spare parts / A. V. Pitukhin, V. N. Shilovsky, V. M. Kostyukevich, V. V. Vlasov // *Forestry Bulletin*. — 2018. — Vol. 22, № 2. — С. 61—67.
5. Saleh A. Al-Suhaibani. Farm tractors breakdown classification / Saleh A. Al-Suhaibani, Mohamed F. Wahby // *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. — 2017. — № 16 (3). — P. 294—298.
6. Maintainability of machines / A. I. Aristov, P. N. Volkov, L. G. Duboviczkij [etc.] ; under the editorship P. N. Volkov. — Moscow : Mashinostroenie, 1975. — 368 p.

7. *Houtson, A.* Analysis of variance / A. Houtson. — Moscow : Statistica, 1971. — 88 p.
8. *Hicks, Ch.* Basic principles of experiment planning / Ch. Hicks. — Moscow : Mir, 1967. — 406 p.
9. *Shilovskiy, V. N.* Marketing and management of technical service of machinery and equipment/ V. N. Shilovskiy, A. V. Pitukhin, V. M. Kostyukevich. — Sankt-Petersburg : Lan', 2015. — 272 p.
10. Generating interference matrices for automatic assembly sequence planning / W. Zhang, M. Ma, H. Li, J. Ju // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — April 2017. — Vol. 90. — Issue1—4. — P. 1187—1201.
11. *James, A. T.* Development of methodology for the disassemblability index of automobile systems using a structural approach / A. T. James, O. P. Gandhi, S. G. Deshmukh // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. — 2017. — № 231 (4). — P. 516—535.

© Шиловский В. Н., Питухин А. В., Питухин Е. А., 2019