

УДК 630.3

DOI: 10.15393/j2.art.2019.4562

Статья

Оценка и повышение эксплуатационной технологичности агрегатов машин

Вениамин Н. Шиловский¹, Григорий Ю. Гольштейн^{1,*}

¹ Петрозаводский государственный университет, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 29; E-Mails: shisvetnik@narod.ru (В. Ш.); grigory@psu.karelia.ru (Г. Г.)

* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: grigory@psu.karelia.ru (Г. Г.);
Tel.: +7(960)-211-79-75

Получена: 10 Апреля 2019 / Принята: 18 июня 2018 / Опубликовано: 27 июня 2019

Аннотация: Представлен и апробирован на примере коробок передач различных конструкций графоаналитический метод сравнительной оценки целесообразности конструкции агрегатов транспортно-технологических машин, который может быть использован при разработке и совершенствовании конструкции машин и оборудования. Рыночные условия управления требуют конструирования машин и оборудования, соответствующих высокому уровню эксплуатационной приспособляемости, умения давать сравнительную оценку конструкции на стадии проектирования и технологической подготовки производства. Статья посвящена обоснованию средств и методов оценки, а также разработке рекомендаций по повышению эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности различных конструкций узлов машин с целью снижения эксплуатационных расходов на их техническое обслуживание и ремонт. В результате проведенных исследований выявлено, что конструкция коробки передач с шестернями постоянного зацепления является более совершенной. Сокращение времени замены отдельных деталей, в частности вторичного вала редуктора, составляет 16% по сравнению с заменой того же вала редуктора на подвижные узлы. В связи с совершенствованием технологического процесса разборки и сборки с помощью специальной оправки, продолжительность, а, следовательно, и сложность замены вторичного вала редуктора трактора ТЛТ-100 сокращаются на 27%.

Ключевые слова: эксплуатационная технологичность, ремонтпригодность.

DOI: 10.15393/j2.art.2019.4562

Article

Evaluation and improvement of the operational adaptability of machine units

Veniamin Shilovsky¹, Grigory Golhstein^{1,*}

¹ Petrozavodsk state university, Russia, 185910, Republic of Karelia, Petrozavodsk, Lenin av., 29;
E-Mails: shisvetnik@narod.ru (V. Sh.); grigory@psu.karelia.ru (G. G.)

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: grigory@psu.karelia.ru (G. G.);
Tel.: +7(960)-211-79-75

Received: 10 April 2019 / Accepted: 18 June 2019 / Published: 27 June 2019

Abstract: The graph analytical method of comparative evaluation of the transport and technological machines aggregates feasibility, which can be used in the development and improvement of the design of machines and equipment, is presented and tested on the example of gearboxes of various designs. Market conditions of management require the construction of machinery and equipment corresponding to a high level of operational adaptability as well as the ability of specialists to compare and evaluate a design at the planning and production engineering stages. The article is devoted to the substantiation of assessment tools and evaluation methods and to the development of recommendations for improving the operational manufacturability and maintainability of various designs of machine units in order to reduce operating costs for their maintenance and repair. The authors have established that the design of a constant-mesh transmission is more advanced. The reduction in the replacement time of individual parts, in particular the secondary shaft of the gearbox is 16% compared to the replacement of the same shaft of the gearbox with mobile units. Due to the improvement of the technological process of disassembly and assembly by using a special mandrel, the duration, and hence the complexity of replacing the secondary shaft of the gearbox of the TLT-100 tractor is reduced by 27%.

Keywords: operational manufacturability, maintainability.

1. Введение

Проблема повышения эффективности лесозаготовительного производства может решаться, наряду с другими направлениями, за счёт совершенствования уровня эксплуатационной технологичности (ЭТ) лесозаготовительных машин (ЛЗМ) [1—4]. Показатели эксплуатационной технологичности и связанной с ней ремонтпригодности делятся на экономические, организационно-технические и технологические [5—7]. Одним из основных технологических показателей является коэффициент доступности составных частей машины. Свойство «доступность» зависит, в основном, от конструктивных особенностей узлов и агрегатов машины [8—10], но также и от совершенства технологического прогресса разборки-сборки узла (агрегата) в условиях эксплуатации и ремонтных предприятий [2—4], [14], [16]. Особое внимание для сокращения общих затрат на ремонт и длительности простоя необходимо уделять агрегатам трансмиссии, т. к. они имеют наибольшее значение [11], [12], [13], [17], [19].

Методы оценки показателей эксплуатационной, ремонтной технологичности машин включают: аналитический, графоаналитический, экспериментально-расчётный и комплексный [7], [10], [15], [18].

Целью статьи является обоснование метода оценки, оценка и разработка рекомендаций по улучшению эксплуатационной технологичности различных конструкций агрегатов машин и оборудования на примере коробок передач тракторов ОТЗ.

2. Методика исследований и оценки ЭТ

Методика исследований включает экспериментально-расчётный метод, который основан на использовании технически обоснованных нормативов относительной длительности действий исполнителей при выполнении трудовых операций [3], [9], а также в ходе её применения использованы основные положения графоаналитического метода оценки эксплуатационной технологичности, подробно изложенные в ранее опубликованных работах [3], [8].

Основу графоаналитического метода оценки технологичности конструкции изделий составляет анализ доступности к составным частям и сборочным единицам машины. Структура доступности хорошо отображается направленными графами, в которых снимаемым деталям соответствуют вершины графа (точки), а связям между ними — направленные рёбра графа в виде прямых со стрелками. Арабскими цифрами проставлены номера деталей. Несколько точек, соединённых вместе, означают одновременность снятия группы деталей. Горизонтальные прямые, проведённые на графе и обозначенные римскими цифрами, определяют уровни сравниваемой степени доступности к местам технического обслуживания (ТО).

3. Объекты, материалы и результаты исследований

Коробка передач (КП) базового трактора ТДТ-55А и лесозаготовительных машин на его базе имеет основное свойство переключать или включать различные передачи путем перемещения соответствующих блоков шестерен. Трактор ТЛТ-100 имеет КП с шестернями постоянного зацепления.

Одним из показателей ремонтпригодности объекта, в т. ч. агрегата трелёвочного трактора, является продолжительность (трудоемкость) ремонта, например, замены одного из отказавших его элементов.

Ремонтная технологичность КП характеризуется приспособленностью её конструкции к разборке-сборке. Ремонтпригодность, отражающая ремонтную технологичность, характеризует одновременно и надёжность, т. е. количество необходимых операций разборки-сборки, зависящих от ресурса сопрягаемых деталей. В коробке передач с шестернями постоянного зацепления исключён их торцевой износ и, как показали дальнейшие исследования, она более ремонтпригодна.

Сравним эксплуатационную технологичность КП различной конструкции с использованием графов доступа к вторичному валу коробок передач. Технологическая карта разборки коробок передач по замене вторичного вала представлена в таблице.

Таблица. Технологическая карта замены вторичного вала коробки передач тракторов ТДТ-55А и ТЛТ-100

Наименование операции	Номер операции для тракторов		Инструмент, приспособления	Время операции (нормативное), мин.
	ТДТ-55А	ТЛТ-100		
1	2	3	4	5
Установить КП на стенд	1	1	Кран-балка Q = 0,5т, захват ЗГ6089	0,3
Вывернуть пробку сливную магнитную 55А-12-сб226 и слить масло	2	2	Ключ 7811-0025С1Х9	1,85
Ослабить болты крышки с вилками переключения М12.6дх 25. 88.35.019 (11 шт.)	3	3	Ключ гаечный кольцевой 78110286	1,5
Вывернуть все болты	4	4	Гайковёрт ГПР-24, головка 101.7812-5107	0,85
Снять крышку с вилками переключения, прокладку	5	5	Выколотка 9691-507	0,3

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
Отогнуть края шайбы отгибкой 55-18-147А	6	6	Отвёртка монтажная 7810-0989	0,25
Отвернуть гайку 40М-18-148, снять шайбу 55-4506025, кольцо КН-38-50	7	7	Ключ торцевой 9691-368	0,55
Ослабить болты М10.6дх30.88.016 (6 шт.) обоймы сальника 12-12-30 и крышки 12-12-29А	8	8	Ключ гаечный кольцевой 78110504	0,8
Отвернуть болты	9	9	Гайковёрт 3113А, головка 101.7812-5106	0,7
Спрессовать втулку 55-12-21 в сборе с обоймой и крышкой сальника	10	10	Съёмник винтовой трёхлапчатый СВ33	1
Ослабить болты М10.6дх30.88.016 (4 шт.) крышки 12-12-9	11	11	Ключ гаечный кольцевой 78110504	0,6
Вывернуть болты	12	12	Гайковёрт 3113А, головка 101.7812-5106	0,4
Снять крышку 12-12-9 и прокладку	13	13	Отвёртка монтажная 7810-0989	0,1
Снять стопорную проволоку ПЖ-14 × 100	14	—	Кусачки торцовые 7814-0121	0,15
Ослабить болты 55-15-174-А (2 шт.) крепления шайбы к торцу вторичного вала	15	—	Ключ гаечный кольцевой 78110504	0,3
Вывернуть болты	16	—	Гайковёрт ИП3113А, головка Т7813-0067	0,25
Снять с торца вторичного вала шайбу	17	—	—	0,1
Спрессовать подшипник 50409 АК из картера, снять кольцо пружинное	18	—	Инструмент для снятия подшипников, плоскогубцы с полукруглыми губками 7814-0304	0,6
Переместить вал вторичный в сторону задней стенки картера	19	—	—	0,4
Снять шестерню ведомую 4-й передачи 55-12-9Б	20	—	—	0,2
Снять втулку распорную 40М-12-383	21	—	—	0,2
Снять шестерню ведомую 5-й передачи 55-12-10Б	22	—	—	0,2
Снять шестерню ведомой передачи 55-12-6	23	—	—	0,2

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
Спрессовать подшипник 2310	24	—	Инструмент для снятия подшипников	0,4
Снять кольцо отражательное 12-12-41 и кольцо 12-12-48	25	—	—	0,2
Вынуть вторичный вал в сборе с шестерней 1-й передачи 55-12-131	26	—	—	0,4
Снять шестерню 55-12-131	27	—	—	0,1
Снять шплинт 5 × 45.019 с гайки 55-18-сб5 на переднем конце грузового вала	—	14	Отвёртка монтажная 7810-0989, плоскогубцы 7814-0304	0,25
Отвернуть гайку 55-18-сб5	—	15	Ключ торцевой 9691-368	0,3
Спрессовать подшипник 50409АК из картера, снять кольцо пружинное	—	16	Инструмент для снятия подшипников, плоскогубцы с полукруглыми губками 7814-0304	0,6
Вывести вал вторичный 95-1701028 из отверстия картера	—	17	—	0,1
Спрессовать с вторичного вала подшипник 2310	—	18	Инструмент для снятия подшипников	0,4
			Всего: ТДТ-55А/ТЛТ-100	12,9/10,9

Замена вторичного вала КП трактора ТЛТ-100 производится быстрее на 16 % времени, чем замена того же вала КП трактора ТДТ-55А. Оценку совершенства конструкций коробок передач можно проиллюстрировать и произвести с помощью метода графов. Применим метод графов для анализа конструкций рассматриваемых коробок передач с позиции оценки доступа к деталям, определяющего ремонтные трудозатраты при устранении отказов КП. Графы доступа к деталям коробок передач тракторов ТДТ-55А и ТЛТ-100 на примере замены вторичного вала КП приведены на рисунках 1 и 2.

На рисунке 1а обозначено: 1 — пробка сливная магнитная 55А-12-сб226; 2 — болты крепления крышки с вилками переключения; 3 — шайба отгибная 55-18-147А; 4 — гайка 40М-18-148 с шайбой 55-4506025; 5 — болты крепления обоймы и крышки сальника; 6 — болты крепления крышки; 12-12-19; 7 — крышка с вилками переключения; 8 — вилки переключения; 9 — валики вилок переключения; 10 — механизм блокировки; 11 — вилка 55-12-21; 12 — обойма сальника 12-12-30; 13 — крышка сальника 12-12-29А; 14 — крышка сальника 12-12-19; 15 — стопорная проволока ПЖ-14 × 100; 16 — болты крепления шайбы 55-12-415; 17 — болты крепления шайбы; 18 — шайба 55-12-415; 19 — подшипник

50409AK; 20 — шестерня ведомая 4-й передачи 55-12-9Б; 21 — втулка распорная 4OM-12-383; 22 — шестерня ведомая 5-й передачи 55-12-10Б; 23 — шестерня ведомая 2-й передачи 55-12-6; 24 — подшипник 2310; 25 — шестерня ведомая 1-й передачи 55-12-131; 26 — вал вторичный 55-12-12.

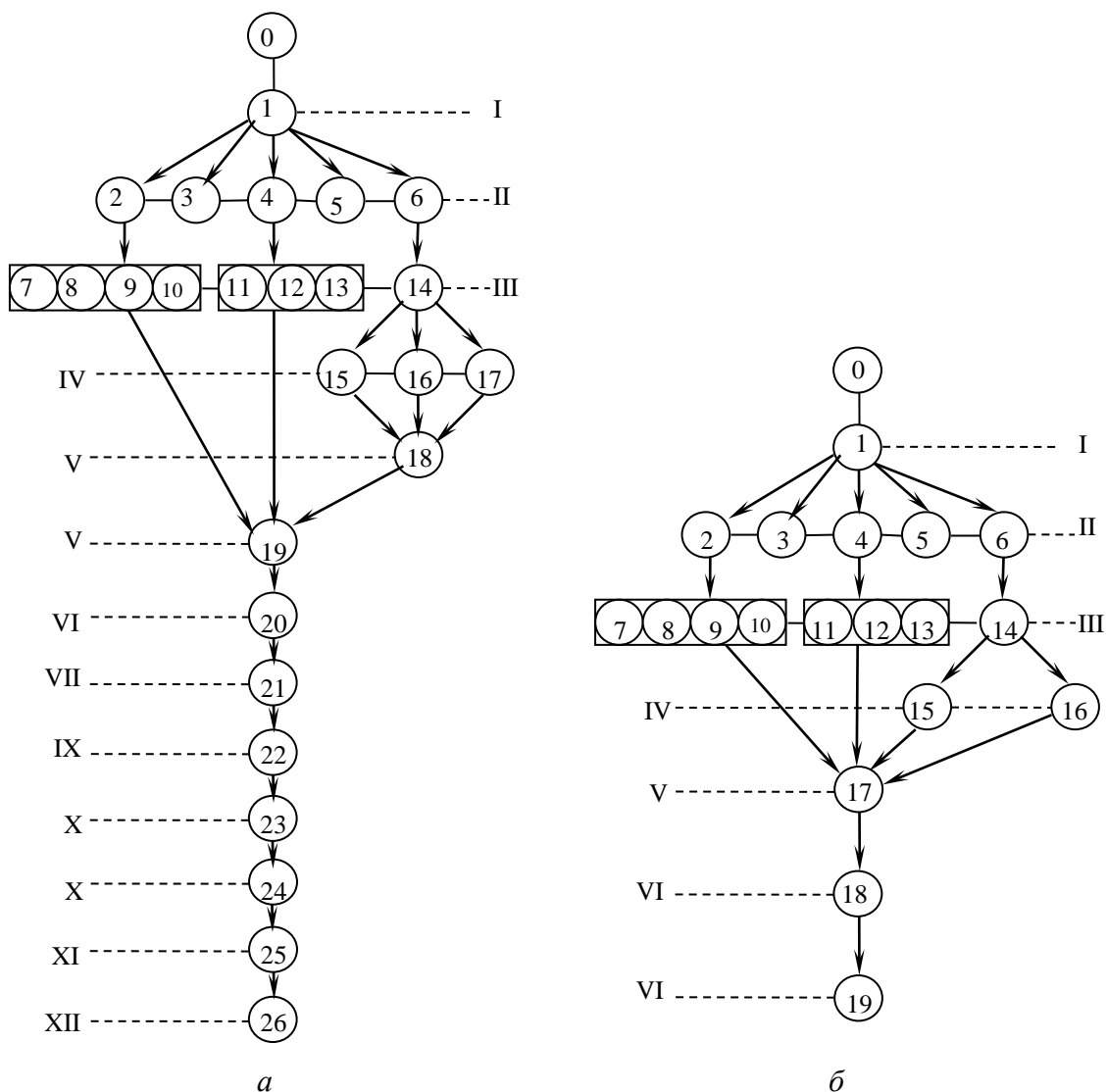


Рисунок 1: *a* — граф доступа к вторичному валу КП ТДТ-55А; *б* — граф доступа к вторичному валу КП трактора ТЛТ-100

На рисунке 1б обозначено: 1 — пробка сливная магнитная 55А-12-сб226; 2 — болты крепления крышки с вилками переключения; 3 — шплинт 5 × 45.019; 4 — гайка 50-18-сб.5; 5 — болты крепления обоймы и крышки сальника; 6 — болты крепления крышки; 12-12-19; 7 — крышка с вилками переключения; 8 — вилки переключения; 9 — валики вилок переключения; 10 — механизм блокировки; 11 — вилка 55-12-21; 12 — обойма сальника 12-12-30; 13 — крышка сальника 12-12-29А; 14 — крышка сальника 12-12-19; 15 — шплинт

5 × 45.019; 16 — гайка 50-18-сб.5; 17 — подшипник 50409АК; 18 — подшипник 2310; 19 — вал вторичный 95-1701028.

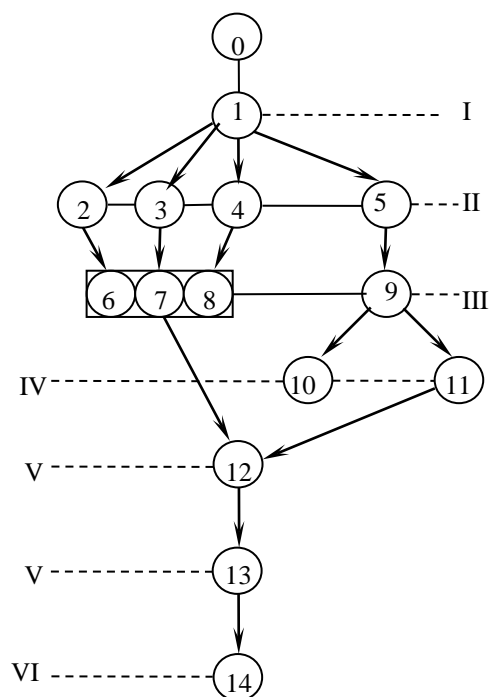


Рисунок 2. Граф доступа к вторичному валу КП трактора ТЛТ-100 с использованием специальной оправки для замены вала

На рисунке 2 обозначено: 1 — пробка сливная магнитная 55А-12-сб226; 2 — шплинт 5 × 45.019; 3 — гайка 50-18-сб.5; 4 — болты крепления обоймы и крышки сальника; 5 — болты крепления крышки; 12-12-19; 6 — вилка 55-12-21; 7 — обойма сальника 12-12-30; 8 — крышка сальника 12-12-29А; 9 — крышка сальника 12-12-19; 10 — шплинт 5 × 45.019; 11 — гайка 50-18-сб.5; 12 — подшипник 50409АК; 13 — подшипник 2310; 14 — вал вторичный 95-1701028.

4. Анализ результатов работы

Применяя метод графов к оценке ремонтпригодности КП, устанавливаем конструктивные особенности КП, заложенные в ней при проектировании.

Последовательный процесс разборки для замены вторичного вала КП трактора ТДТ-55А состоит из тринадцати уровней доступа, а для замены того же вала КП трактора ТЛТ-100 осуществляется семь уровней доступа. Это говорит о том, что КП ТЛТ-100 лучше приспособлена к ремонтно-восстановительным операциям. В КП трактора ТДТ-55А на вторичном валу имеется бурт, который предназначен для перемещения шестерни 1-й передачи на валу. Бурт не даёт возможности снять вторичный вал без снятия шестерён.

В КП трактора ТЛТ-100 вторичный вал можно легко снять, при этом шестерни остаются в картере, т. е. процесс замены вторичного вала здесь менее трудоёмкий.

При анализе доступа к вторичному валу можно использовать основные свойства графа. Первое свойство — это расстояние от корневой вершины графа, которое определяется кратчайшим путём и выражается целыми положительными числами. Для вершин 2, 3, 4, 5, 6 (рисунок 1) кратчайший путь равен двум, для вершин 7—14 — трём и т. д. Расстояние от корневой вершины до вторичного вала КП трактора ТДТ-55А равно тринадцати, а то же расстояние для КП ТЛТ-100 — семи.

Вторым важным свойством графа является его вес, который характеризует количество одновременно снимаемых узлов и деталей, связанных с корневой вершиной. Чем больше вес вершины графа, тем совершенней конструкция узла, т. к. при одном расоединении снимается несколько деталей, что сокращает затраты труда. Если рассмотреть вершину (рисунок 1), включающую детали 7—10, и вершину, включающую детали 11—13, то они имеют вес, соответственно равный четырём и трём.

Подобный анализ позволяет разработать рекомендации по повышению ремонтпригодности узла с целью сокращения времени разборочно-сборочных работ и уменьшения трудозатрат при выполнении ремонтно-восстановительных работ.

На рисунке 2 представлен граф доступа к вторичному валу КП трактора ТЛТ-100 с использованием специальной оправки, позволяющей усовершенствовать технологический процесс замены вторичного вала КП за счёт сокращения операций путём ввёртывания оправки на вторичный вал и выведения его из картера, продвигая оправку в картер КП. В результате продолжительность процесса снятия вторичного вала сокращается на 27 %.

5. Выводы и рекомендации

1. Апробированный метод по оценке эксплуатационно-ремонтной технологичности агрегатов ЛЗМ на примере КП тракторов ОТЗ может быть рекомендован при выборе, совершенствовании и оценке вариантов конструкций на стадиях проектирования и создания опытных образцов отечественных ЛЗМ.
2. Уровень эксплуатационной технологичности, а значит, ремонтпригодности КП трактора ТЛТ-100 с шестернями постоянного зацепления превышает уровень ЭТ КП трактора ТДТ-55А. Уменьшение нормативного времени замены вторичного вала КП тракторов ТЛТ-100 составляет 16 %.
3. За счёт совершенствования технологического процесса путём использования оправки продолжительность, а значит, и трудоёмкость замены вторичного вала КП трактора ТЛТ-100 сокращается на 27 %.
4. Исследования могут быть продолжены применительно к другим агрегатам и другим маркам ЛЗМ.

Список литературы

1. Волков, В. С. Прогнозирование надёжности транспортных машин лесного комплекса / В. С. Волков. — Воронеж : Воронежская лесотехническая академия, 2010. — 338 с.
2. Игнатов, В. И. Техническая эксплуатация и технология ремонта машин и оборудования лесного комплекса / В. И. Игнатов, В. А. Макуев, А. В. Сиротов. — Москва : МГУЛ, 2006. — 337 с.
3. Кяльвияйнен, В. А. Методика экспериментально-расчётной оценки эксплуатационной технологичности машин / В. А. Кяльвияйнен // Сборник статей IV Международной научно-производственной конференции «Перспективные направления развития автотранспортного комплекса». — Пенза : РИО ПГСХА, 2011. — С. 112—115.
4. Ремонтпригодность машин / П. Н. Волков, А. И. Аристов, Л. Г. Дубовицкий [и др.]. — Москва : Машиностроение, 1975. — 368 с.
5. Технологичность конструкции изделия : справочник / Ю. Д. Амиров, Т. К. Алферова, П. Н. Волков [и др.]. — Москва : Машиностроение, 1990. — 768 с.
6. Технология ремонта машин / Е. А. Пучин, В. С. Новиков, Н. А. Очковский [и др.]. — Москва : Колос, 2007. — 488 с.
7. Сравнительная оценка эксплуатационной технологичности лесозаготовительных машин / В. Н. Шиловский, А. В. Питухин, В. А. Кяльвияйнен, В. М. Костюкевич. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2014. — 104 с.
8. Шиловский, В. Н. Экспериментальная оценка организации технического обслуживания и ремонта лесозаготовительных машин / В. Н. Шиловский, Г. Ю. Гольштейн, В. А. Кяльвияйнен // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. Серия «Естественные и технические науки». — 2012. — № 4. — С. 93—95.
9. Шиловский, В. Н. Оценка эксплуатационной технологичности лесозаготовительных машин / В. Н. Шиловский, В. А. Кяльвияйнен // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. — 2013. — № 4. — С. 47—53.
10. Эксплуатационная технологичность конструкций тракторов / В. М. Михлин, К. И. Диков, В. М. Стариков [и др.]. — Москва : Машиностроение, 1982. — 256 с.
11. Saleh, A. Al-Suhaibani. Farm tractors breakdown classification / Saleh A. Al-Suhaibani, Mohamed F. Wahby // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. — 2017. — No 16 (3). — P. 294—298.
12. Gulyarenko, A. A. Calculation Method of the Reasonable Reliability Level Based on the Cost Criteria / A. A. Gulyarenko // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. — 2018. — Vol. 47. — Issue 1. — 1 January. — P. 96—103.
13. Effectiveness assessment of agricultural machinery based on fuzzy sets theory / R. Miodragović, M. Tanasijević, Z. Mileusnić, P. Jovančić // Expert Systems with Applications. — 2012. — Vol. 39. — Issue 10. — August. — P. 8940—8946.
14. Generating interference matrices for automatic assembly sequence planning / W. Zhang, M. Ma, H. Li, J. Yu // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2017. — Vol. 90. — Issue 1—4. — April. — P. 1187—1201.
15. 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. — Vol. 231 (4). — P. 516—535.
16. Chen, B. Researches on immersive virtual maintenance assembly and its key technologies / B. Chen, T. Yang // International Symposium on Information Science and Engineering, ISISE, 2008. — P. 254—257.

17. *Kleiner, F.* Maintenance & repair cost calculation and assessment of resale value for different alternative commercial vehicle power train technologies / F. Kleiner, H. E. Friedrich // EVS 2017 — 30th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition Landesmesse. — Stuttgart; Germany; 9—11 October 2017.
18. Selection of Agricultural Technology: A Multi-attribute Approach / L. Jorge García-Alcaraz, Valeria Martínez-Loya, Aide Maldonado-Macias, Liliana Avelar-Sosa // International Conference on Technologies and Innovation CITI 2017: Technologies and Innovation. — P. 319—331.
19. *Calcante, A.* Repair and maintenance costs of 4WD tractors and self propelled combine harvesters in Italy / A. Calcante, L. Fontanini, F. Mazzetto // Journal of Agricultural Engineering 44, e70. — P. 353—358.

References

1. *Volkov, V. S.* Forecasting of reliability of transport cars of a forest complex / V. S. Volkov. — Voronezh : Voronezh forestry Academy, 2010. — 338 p.
2. *Ignatov, V. I.* Technical maintenance and repair technology machines and equipment of forest complex / V. I. Ignatov, V. A. Makeev, V. A. Sirota. — Moscow : MGUL, 2006. — 337 p.
3. *Kalviainen, V. A.* Methods of experimental and computational evaluation of serviceability of machines / V. A. Kalviainen // Collection of articles IV International scientific-practical conference «Perspective directions of development of motor transport». — Penza : RIO pgskha, 2011. — P. 112—115.
4. Maintainability of machines / P. N. Volkov, A. I. Aristov, L. G. Dubovitsky [et al.]. — Moscow : Machine-building, 1975. — 368 p.
5. Manufacturability of the product design: reference book, etc. / Yu. D. Amirov, T. K. Alferova, P. N. Volkov [et al.]. — Moscow : Mashinostroenie, 1990. — 768 p.
6. The technology of repair of cars / A. E. Puchin, V. S. Novikov, N. A. Oczkowski [et al.]. — Moscow : Kolos, 2007. — 488 p.
7. Comparative evaluation of the maintainability of the logging machinery / V. N. Shilovskay, A. V. Pitukhin, V. A. Kalviainen, V. M. Kostyukevich. — Petrozavodsk : Publishing house of PetrSU, 2014. — 104 p.
8. *Shilovskay, V. N.* Experimental evaluation of the organization of technical maintenance and repair of forest machines / V. N. Shilovskay, G. Y. Holstein, V. A. Kalviainen // Scientific notes of Petrozavodsk state University. Series «Natural and technical Sciences». — 2012. — No 4. — P. 93—95.
9. *Shilovskay, V. N.* Assessment of serviceability logging equipment / V. N. Shilovskay, V. A. Kalviainen // Izv. higher. studies'. institutions'. Forest magazine. — 2013. — No 4. — P. 47—53.
10. Operational manufacturability of tractor designs / V. M. Mikhlin, K. I. Dikov, V. M. Starikov [etc.]. — Moscow : Mashinostroenie, 1982. — 256 p.
11. *Saleh, A. Al-Suhaibani.* Farm tractors breakdown classification / Saleh A. Al-Suhaibani, Mohamed F. Wahby // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. — 2017. — No 16 (3). — P. 294—298.
12. *Gulyarenko, A. A.* Calculation Method of the Reasonable Reliability Level Based on the Cost Criteria / A. A. Gulyarenko // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. — 2018. — Vol. 47. — Issue 1. — 1 January. — P. 96—103.

13. Effectiveness assessment of agricultural machinery based on fuzzy sets theory / R. Miodragović, M. Tanasijević, Z. Mileusnić, P. Jovančić // *Expert Systems with Applications*. — 2012. — Vol. 39. — Issue 10. — August. — P. 8940—8946.
14. Generating interference matrices for automatic assembly sequence planning / W. Zhang, M. Ma, H. Li, J. Yu // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. — 2017. — Vol. 90. — Issue 1—4. — April. — P. 1187—1201.
15. *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. — Vol. 231 (4). — P. 516—535.
16. *Chen, B.* Researches on immersive virtual maintenance assembly and its key technologies / B. Chen, T. Yang // *International Symposium on Information Science and Engineering, ISISE, 2008*. — P. 254—257.
17. *Kleiner, F.* Maintenance & repair cost calculation and assessment of resale value for different alternative commercial vehicle power train technologies / F. Kleiner, H. E. Friedrich // *EVS 2017 — 30th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition Landesmesse*. — Stuttgart; Germany; 9—11 October 2017.
18. Selection of Agricultural Technology: A Multi-attribute Approach / L. Jorge García-Alcaraz, Valeria Martínez-Loya, Aide Maldonado-Macias, Liliana Avelar-Sosa // *International Conference on Technologies and Innovation CITI 2017: Technologies and Innovation*. — P. 319—331.
19. *Calcante, A.* Repair and maintenance costs of 4WD tractors and self propelled combine harvesters in Italy / A. Calcante, L. Fontanini, F. Mazzetto // *Journal of Agricultural Engineering* 44, e70. — P. 353—358.