

УДК 621.81:625.08:62-192

## ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ ОДНОКОВШОВЫХ ФРОНТАЛЬНЫХ ПОГРУЗЧИКОВ

**Жандарбекова Асель Мергазиновна,**

канд. техн. наук, доцент кафедры транспорта и логистики факультета машиностроения и транспорта Восточно-Казахстанского государственного технического университета им Д. Серикбаева, Республика Казахстан, 070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова А.К., д. 69.  
E-mail: AZhandarbekova@bk.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью поддержания требуемого уровня надежности дорожно-строительных машин, работающих в реальных (тяжелых) условиях, при оптимальном уровне затрат на текущий ремонт агрегатов.

**Цель работы:** обоснование формирования рационального комплекса работ текущего ремонта агрегатов серийно выпускаемой дорожно-строительной машины путем моделирования на ЭВМ уровня их надежности с учетом затрат на приобретение машины и ее эксплуатацию.

**Методы исследования:** в ходе выполнения исследований использованы современные методы обеспечения надежности технических систем, теории восстановления работоспособности ремонтируемых изделий и компьютерное моделирование. Способом сокращения затрат на поддержание работоспособности агрегатов машин в реальных условиях эксплуатации выбрано повышение безотказности деталей и узлов, лимитирующих их надежность.

**Результаты:** предложена усовершенствованная последовательность моделирования уровня надежности агрегатов машин, состоящая из шести этапов. Она апробирована на примере коробки передач модели SB 165-2 одноковшовых фронтальных погрузчиков моделей L-34B и 534C. Разработана математическая модель, программы расчетов на ЭВМ, позволяющие оценить влияние качества изготовления деталей и узлов машин на выходные показатели надежности рассматриваемого агрегата и решить на практике задачи формирования рационального комплекса текущего ремонта агрегата машины. Показано, что при использовании оптимальных разновидностей текущего ремонта коробки передач модели SB 165-2 одноковшовых фронтальных погрузчиков возможно снижение минимальных суммарных удельных затрат  $C_{уд\min}$  на поддержание надежности рассматриваемого агрегата до 15,1 %.

### Ключевые слова:

Эксплуатационная надежность, текущий ремонт, моделирование, гидромеханическая трансмиссия, коробка передач.

В процессе развития горно-металлургической отрасли в Восточно-Казахстанской области большое внимание уделяется разработке месторождений, строительству карьерных дорог. Реализация этих мероприятий требует повышения эффективности эксплуатации дорожно-строительных машин (ДСМ). Важным и специфическим показателем эффективности имеющейся и поступающей дорожно-строительной техники в регион Восточного Казахстана является конкурентоспособность, которая определяется совокупностью потребительских свойств, в частности возможностью эксплуатации в суровых климатических условиях.

Одноковшовые фронтальные погрузчики используются во многих климатических зонах Республики Казахстан, причем особенно эффективно в многоотраслевых хозяйствах, в которых годовой цикл работ включает большое число чередующихся производственных процессов и продолжительных погрузочно-разгрузочных работ в технологических циклах большой напряженности [1]. Отказы одноковшовых фронтальных погрузчиков в эксплуатации приводят к простоям не только самой машины, но и комплекса совместно работающих машин и оборудования. Решение задач по сокращению отказов одноковшовых фронтальных погрузчиков и их простоев в ремонте связано с обеспечением и поддержанием надежности их часто отказывающих агрегатов и узлов.

Многолетними исследованиями сотрудников Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева установлено, что в практике эксплуатации одноковшовых фронтальных погрузчиков проводится большой объем текущих ремонтов агрегатов. При этом в случае отказа отдельных деталей групповая замена узлов с учетом показателей надежности не всегда обоснована.

Практика использования одноковшовых фронтальных погрузчиков моделей L-34B и 534C в условиях Восточного Казахстана показывает, что эффективность их применения в значительной степени зависит от их эксплуатационных свойств, которые, в свою очередь, определяются надежностью и конструктивно-технологическими особенностями его гидромеханической трансмиссии (ГМТ). На основе эксплуатационных испытаний погрузчиков моделей L-34B и 534C установлено, что ГМТ обладает сравнительно низкой надежностью, в которой наименее надежным агрегатом является коробка передач (КП) модели SB 165-2 [1-3].

Поэтому исследования, направленные на сокращение затрат по поддержанию работоспособности КП одноковшовых фронтальных погрузчиков моделей L-34B и 534C, обеспечивающих минимизацию затрат и сокращение простоев машин в эксплуатации, имеют огромную практическую значимость для обоснования приобретения и повыше-

ния конкурентоспособности погрузчиков данных моделей.

Научно обоснованный подход к формированию рационального комплекса работ текущего ремонта КП модели SB 165–2 путем моделирования уровня их надежности на ЭВМ позволяет существенно сократить число ремонтов агрегата, а также эксплуатационные затраты. Используя методы обеспечения надежности технических систем, результаты современной теории вероятностей, математической статистики и компьютерного моделирования [4–6], можно разработать рекомендации по снижению объемов текущего ремонта машин в эксплуатации при минимальных затратах и простоях.

Одним из способов сокращения затрат на поддержание работоспособности агрегатов однокорпусных фронтальных погрузчиков в эксплуатации является повышение безотказности деталей и узлов, лимитирующих их надежность. Это дает возможность повысить надежность отдельных элементов, но не решает проблему недостаточной надежности агрегата в целом. С этих позиций следует оптимизировать работы текущего ремонта КП модели SB 165–2 с учетом характеристик надежности его деталей и узлов.

Формирование рационального комплекса текущего ремонта заключается в обеспечении высокого уровня надежности коробки передач модели SB 165–2 ГМТ путем выявления таких значений показателей надежности элементов данного агрегата, которые позволяют объединить их в легко заменяемые блоки и модули, состоящие из деталей равной (близкой) долговечности. При этом удается сократить общее количество отказов агрегата и повысить его безотказность. Разработка научно обоснованных рекомендаций по обеспечению равной (близкой) долговечности деталей позволит осуществить замену групп деталей, выполненных в виде конструктивно-технологического блока, с минимальным значением их неиспользованного остаточного ресурса. Это возможно при дальнейшем развитии математического аппарата теории восстановления работоспособности технических систем.

В ходе данного исследования с целью повышения эксплуатационной надежности КП модели SB 165–2 погрузчиков L-34В и 534С рассмотрен комплекс работ текущего ремонта ее узлов. В качестве критерия его оптимизации принято условие снижения затрат на поддержание работоспособности агрегата. Поэтому при формировании рационального комплекса текущего ремонта КП учитывались не только конструктивные и технологические особенности агрегата [7, 8], но и условия организации технического содержания погрузчиков L-34В и 534С на предприятиях.

Математический аппарат теории восстановления [9–12] позволяет просчитать характеристики процессов восстановления и оценить надежность технической системы. При этом использованы такие характеристики процессов восстановления, как функция  $\Omega(t)$  и параметр потока отказов  $\omega(t)$ .

Следует отметить, что показатели надежности механической системы, на которых базируются расчеты, оценены в реальных условиях эксплуатации подконтрольной группы погрузчиков L-34В и 534С в количестве 20 единиц. Кроме того, с использованием моделирования на ЭВМ показателей надежности узлов машин удалось оптимизировать показатели долговечности и безотказности наиболее часто отказывающихся деталей.

В ходе исследования разработана математическая модель, программы расчетов, которые позволили имитировать влияние повышения качества изготовления деталей и узлов на выходные показатели надежности рассматриваемого агрегата (суммарные минимальные удельные затраты  $C_{у\text{л}min}$ , уровень надежности  $n$ , оптимальный ресурс  $t_{отк}$ , наработка до первого отказа  $T_{до}$ ). Для оценки характера изменения качества изготовления использован коэффициент рассеивания ресурса детали (группы деталей)  $k_{рр}$ . При этом целевая функция математической модели оптимизации комплекса работ текущих ремонтов имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{\text{пн}}(t) = \sum_{i=1}^{N_i} C_{\text{отк}_i} \Omega_i(t) \rightarrow \min, \\ \beta_c = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} C_i \beta_{p_i}}{\sum_{i=1}^{N_i} C_i} \rightarrow 1, \\ \beta_{p_i} = \frac{t_{\text{ср}гп}}{t_{\text{ср}_i}} \rightarrow 1, i = \overline{1, M}, \end{array} \right.$$

где  $C_{\text{пн}}(t)$  – затраты на поддержание надежности за наработку  $t$   $i$ -й системы;  $C_{\text{отк}}$  – стоимость устранения отказа  $i$ -й системы;  $\Omega(t)$  – ведущая функция потока отказов  $i$ -й системы;  $\beta_i$  – коэффициент использования ресурса  $i$ -й системы;  $t_{\text{ср}гп}$ ,  $t_{\text{ср}_i}$  – средняя наработка до отказа группы деталей и  $i$ -й детали;  $\beta_c$  – стоимостной коэффициент;  $C_i$  – стоимость  $i$ -й системы.

При рассмотрении целевой функции математической модели, описывающей характеристику комплекса работ текущих ремонтов машин, оптимизация ведется по суммарным затратам на приобретение машин и поддержание их надежности в эксплуатации. В качестве ограничений в математической модели применены: коэффициент использования ресурса ( $\beta_p$ ) и коэффициент стоимостного использования ресурса ( $\beta_c$ ). Естественно, при моделировании на ЭВМ уровня надежности можно добиться повышения указанных коэффициентов до 1,0.

Оптимизация выходных показателей надежности агрегата сводится к определению на основе моделирования на ЭВМ значений параметров наименее надежной, ненадежной и недостаточно надежной групп деталей, позволяющих прежде всего снизить суммарные удельные затраты на изготовление машины (агрегата) и поддержание ее на-

дежности. При этом в основу положено сокращение затрат при эксплуатации путем оптимизации комплекса работ текущего ремонта КП модели SB 165–2 на основе выявления оптимальных разновидностей текущего ремонта (РТР).

Показано, что при использовании оптимальных разновидностей текущего ремонта КП модели SB 165–2 возможно снижение минимальных суммарных удельных затрат  $C_{уд.мин.}$  по первой группе деталей на 13,44 %, по второй – на 15,1 %, а по третьей – на 13,86 % (табл. 1, 2).

Формирование рационального комплекса текущего ремонта коробки передач ГМТ одноковшовых фронтальных погрузчиков с учетом конструктивно-технологических факторов предполагает выполнение шести этапов исследования.

На первом этапе путем технологической проработки предложено последовательно провести анализ и расчет характеристик надежности КП модели SB 165–2. При этом расчеты базируются на исходных данных, включающих характеристики распределений ресурсов деталей, выявляемых на основе эксплуатационных испытаний машин на надежность, их стоимость, а также удельные затраты, связанные с устранением отказов.

На втором этапе производится объединение деталей, лимитирующих надежность КП, по конструктивно-технологическому признаку. В задачи данного этапа входит выявление элементов, лимитирующих надежность агрегата на основе результатов эксплуатационных испытаний одноковшовых фронтальных погрузчиков, составление карты надежности и технологической схемы его сборки–сборки, в которую следует включать только детали, лимитирующие надежность агрегата.

Третий этап предполагает группирование деталей внутри конструктивно-технологической зоны общей совокупности по признаку равной долговечности. При этом производится анализ долговечности деталей внутри выделенной совокупности совместно разбираемых деталей в общей конструктивно-технологической зоне. Среди них выделяются: детали, имеющие ресурс менее половины ресурса узла (наименее надежные); детали, ресурс которых сопоставим либо значительно выше ресурса узла (ненадежные); детали, имеющие ресурс выше половины ресурса узла (недостаточно надежные).

На четвертом этапе определяется стратегия замены деталей по каждой РТР и расчет распределения наработок группы деталей совместных замен в общей конструктивно-технологической зоне, если групповая замена признана нецелесообразной. При этом производится расчет композиций распределений вторых, третьих и т. д. замен группы элементов совместной замены на основе аналитических зависимостей расчета вероятностей и плотностей композиции распределения наработок до очередного отказа. Определяется ведущая функции  $W$  потока отказов деталей и групп деталей совместных замен в общей конструктивно-технологической зоне и степень использования их ресурсов.

На пятом этапе производится моделирование и выравнивание ресурсов деталей сопоставимой долговечности в конструктивно-технологических группах по стоимостному признаку. В задачу данного этапа входит моделирование повышения ресурсов и сокращения их рассеивания относительно дешевых деталей внутри каждой группы конструктивно-технологической зоны с целью формирования группы с максимальным использованием ресурсов и стоимости деталей. Результаты компьютерного моделирования, полученные на данном этапе, являются исходными данными для разработки рекомендаций по усовершенствованию узла (агрегата) с позиций повышения технологичности изготовления его деталей. При этом моделирование повышения надежности групп деталей путем изменения долговечности часто отказывающихся деталей позволяет добиться выравнивания долговечности деталей, тяготеющих к единой группе совместных замен.

Шестой этап предполагает оптимизацию систем замен деталей и РТР с целью минимизации количества ремонтов агрегата ДСМ. На данном этапе производится моделирование на ЭВМ групп деталей совместных замен с учетом обеспечения кратности ресурсов групп деталей КП в общей конструктивно-технологической зоне. Подобный подход обусловлен стремлением повысить ресурс более дорогих деталей. При этом ресурсы различных групп деталей совместных замен следует выравнивать не только внутри узла, но и между узлами агрегата.

Выше подробно описаны этапы формирования рационального комплекса текущего ремонта коробки передач ГМТ одноковшовых фронтальных погрузчиков в целях дальнейшей детализации ранее полученных результатов, изложенных в [13].

В данном исследовании для повышения надежности исследуемого агрегата одноковшовых фронтальных погрузчиков предложено сократить число текущих ремонтов путем повышения безотказности наименее надежной (№ 3), ненадежной (№ 1) и недостаточно надежной (№ 5) групп деталей совместных замен (табл. 1) [14]. С этой целью было произведено моделирование на ЭВМ повышения ресурсных и стоимостных показателей наиболее часто отказывающихся групп деталей КП модели SB 165–2.

Моделирование затрат на поддержание эксплуатационной надежности произведено с учетом характера изменения отказов, т. е. на основе ведущей функции потока отказов. Кроме того, учтены и показатели надежности КП модели SB 165–2 в целом.

В процессе исследования были получены результаты расчетов минимальных суммарных удельных затрат, уровня надежности и наработки до первого отказа КП модели SB 165–2 рассматриваемых групп деталей КП № 3, 1 и 5 [15]. В табл. 2 представлены результаты улучшения показателей надежности КП модели SB 165–2 методом моделирования на ЭВМ показателей долговечности рассматриваемых групп деталей.

**Таблица 1.** Стоимостные и ресурсные данные групп деталей, лимитирующих надежность КП модели SB 165–2

№ узлов по каталогу	№ групп деталей	Стоимость, тенге	Первая/Вторая замена			Закон распределения
			Средняя наработка до отказа, мото-ч	Среднеквадратическое отклонение, мото-ч	Коэффициент вариации	
07-11, 07-12	1	23689	3,08/2,70	0,89/0,76	0,28/0,28	Нормальный
	2	63025	9,90/9,10	4,60/4,80	0,46/0,52	Вейбулла
07-13	3	28373	2,67/2,25	0,75/0,65	0,28/0,28	Нормальный
	4	65528	9,90/6,80	3,90/3,40	0,39/0,50	Вейбулла
07-14	5	34778	3,0/2,60	0,86/0,66	0,28/0,25	Нормальный
	6	12317	10,5/6,80	2,93/1,76	0,27/0,25	Нормальный

**Таблица 2.** Эффективность повышения надежности КП модели SB 165–2

Показатели надежности	Исходное значение	Улучшение показателей надежности КП при моделировании					
		Группы деталей					
		№ 3		№ 5		№ 1	
		факт.	%	факт.	%	факт.	%
Минимальные суммарные удельные затраты $C_{удел}$ тенге/мото-ч	651,6	561,6	13,86	463,2	15,1	375,6	13,44
Уровень надежности $n$	1,38	1,65	19,56	2,10	32,60	3,05	68,84

Результаты исследований, представленные в табл. 2, показывают эффективность работ, направленных на дальнейшее повышение надежности на-

ходящихся в эксплуатации агрегатов машин с позиции повышения уровня надежности. Имеется возможность поднять уровень надежности КП модели SB 165–2 более чем в два раза, т. е. с 1,38 до 3,05.

Выполненные исследования позволили разработать рекомендации по сокращению затрат на поддержание надежности машин, пригодные для практического использования предприятиями. Рекомендовано из шести РТР, в целях оптимизации объемов текущего ремонта, сформировать три РТР с учетом конструктивно-технологического исполнения КП модели SB 165–2. При этом группы деталей № 1 и 2, находящиеся в 3-й конструктивно-технологической зоне (07–11, 07–12), объединены в РТР 3; группы деталей № 3 и 4, находящиеся во 2-й конструктивно-технологической зоне, объединены в РТР 2; группы деталей № 5 и 6 (07–14) – в РТР 1.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- Жандарбекова А.М. Практика эксплуатации одноковшовых фронтальных погрузчиков в Восточно-Казахстанской области // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: матер. Междунар. научно-практ. конф. – Пермь, 2012. – Т. 1. – С. 164–167.
- Кульсеитов Ж.О., Жандарбекова А.М. Результаты эксплуатационных испытаний одноковшовых фронтальных погрузчиков на пневмокошесном ходу // Науч. жур. МОН РК «Поиск». – 2008. – № 2. – С. 294–297.
- Кульсеитов Ж.О., Жандарбекова А.М. Влияние повышения качества изготовления деталей и узлов на выходные показатели надежности агрегата дорожно-строительных машин // Валихановские чтения 16: Матер. Междунар. научно-практ. конф. – Кокшетау, 2012. – Т. 8. – С. 76–79.
- Труханов В.М., Матвеев А.М. Надёжность сложных систем на всех этапах жизненного цикла: монография / под ред. В.М. Труханова. – М.: Изд. дом «Спектр», 2012. – 663 с.
- Чепурин Е., Дехтерев И. Statistical analysis of Russian obligatory motor third party liability insurance // Теория вероятностей и ее приложения: тезисы докладов Междунар. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Б.В. Гнеденко. – М., 26–30 июня 2012. – М., ЛЕНАНД, 2012. – Р. 26–30.
- Мартьянов В.В., Мартьянов П.В. Метод обработки и анализа выборочных данных // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 3. – С. 3–14.
- Каталог деталей L-34B serial numbers 20001 and up DRESSTA Co. Ltd. a joint venture of Komatsu America international Co and Huta Stalowa Wola s.a. catalog Czeski parts catalogue.

- Инструкция по ремонту фронтального погрузчика L-34B от серийного номера 20001 и выше. DRESSTA Co. Ltd. joint venture of Komatsu America international Co and Huta Stalowa Wola s.a.
- Кокс Д.Р., Смит В.Л. Теория восстановления. – М.: Советское радио, 1967. – 299 с.
- Franken P., Streller A. Reliability analysis of complex repairable systems by means of marked point processes // Journal of Application Probability. – 1980. – № 17. – Р. 154–167.
- Tadikamalla P.R. Age Replacement Policies for Weibull Failure Times // IEEE transactions on reliability. – 1980. – V. R-29. – Iss. 1. – № 1. – Р. 88–90.
- Чепурин Е.В. Статистические методы обработки данных о надежности оборудования в эксплуатации // Энциклопедия «Надежность и эффективность в технике». – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. – С. 181–194.
- Кульсеитов Ж.О., Жандарбекова А.М. Вопросы повышения надежности коробки передач гидромеханической трансмиссии одноковшовых фронтальных погрузчиков // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2011. – № 3. – С. 46–49.
- Жандарбекова А.М., Кульсеитов Ж.О., Муздыбаев М.С. Рекомендации по повышению надежности коробки передач одноковшовых фронтальных погрузчиков // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2010. – № 1. – С. 60–66.
- Кульсеитов Ж.О., Муздыбаев М.С., Жандарбекова А.М. Оптимизация показателей надежности коробки передач гидромеханической трансмиссии одноковшового фронтального погрузчика методом моделирования на ЭВМ // Науч. жур. МОН РК «Поиск». – 2008. – № 4. – С. 240–245.

Поступила 11.10.2013 г.

## FORMATION OF RATIONAL RANGE FOR RUNNING REPAIRS OF FRONT-END SHOVEL LOADER GEARBOX

**Acel M. Zhandarbekova,**

Cand. Sc., D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University,  
Republic of Kazakhstan, 070004, Ust-Kamenogorsk,  
A.K. Protozanov street, 69. E-mail: AZhandarbekova@bk.ru

*The work relevancy is caused by the necessity to sustain the required reliability level of road-building machines operating in real hard conditions at optimum level of costs on running repair of aggregates.*

**The work goal** is to justify the formation of rational range of aggregates running repair. These aggregates belong to series-produced road-building machines by computer modeling of their reliability when machine purchase and operation costs are taken into account.

**Research methods:** while carrying out the researches the author has used the up-to-date methods providing reliability of engineering systems, the theory of maintainable item efficiency restoration and computer modeling. The method for reducing costs on maintenance of machine aggregates in real operation conditions was chosen as the increasing reliability of parts and units which limit their reliability.

**The results.** The author proposed the enhanced modeling sequence of reliability level of machines aggregates consisting of six stages. This sequence was tested on gearbox SB165–2 of front-end shovel loaders L-34B and 534C. The mathematical model of computer calculation program was developed to evaluate the influence of machines parts and units production quality on output factors of concerned aggregate reliability and to achieve the work goal practically. The goal is to form rational range of machine aggregate running repairs. It was proved that while using optimal running repairs of gearbox SB 165–2 of front-end shovel loaders it is possible to reduce minimum total cost per unit  $C_{\text{spec.}}^{\text{min}}$  on reliability maintenance of the aggregate under concern to 15,1 %.

### Key words:

Operational reliability, running repair, modeling, hydromechanical transmission, gearbox.

### REFERENCES

- Zhandarbekova A.M. Praktika ekspluatatsii odnokovshovykh frontalnykh pogruzchikov v Vostochno-Kazakhstanskoj oblasti [Operation of front-end shovel loaders in East Kazakhstan Oblast]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Materials of International scientific practical conference. Modernization and scientific researches in transport complex]. Perm, 2012, vol. 1, pp. 164–167.
- Kulseitov Z.O., Zhandarbekova A.M. Rezultaty ekspluatatsionnykh ispytaniy odnokovshovykh frontalnykh pogruzchikov na pnevmokolosnom khodu [The results of operational test of front-end shovel loaders with trucklike chassis]. *Nauchny zhurnal MON RK «Poisk»*, 2008, no. 2, pp. 294–297.
- Kulseitov Z.O., Zhandarbekova A.M. Vliyaniye povysheniya kachestva izgotovleniya detaley i uzlov na vykhodnye pokazateli nadyozhnosti agregata dorozhno-stroitelnykh mashin [Influence of increasing parts and units production quality on output factors of road-building machines aggregate reliability]. *Valikhanovskie chteniya 16: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Materials of International scientific practical conference. Valikhanov's reading 16). Kokshetau, 2012, vol. 8, pp. 76–79.
- Trukhanov V.M., Matveyenko A.M. *Nadyozhnost slozhnykh sistem na vseh etapakh zhiznennogo tsykla. Monografiya* [Reliability of complicated systems at all stages of life cycle. Monography]. Moscow, Publishing house «Spektr», 2012. 663 p.
- Chepurin E., Dekhterev I. *Statistical analysis of Russian obligatory motor third party liability insurance. Teoriya veroyatnostey i ee prilozheniya. Tezisy dokladov mezhdunarodnoj konferentsii povsyashchyonnogo stoletiyu so dnya rozhdeniya B.V. Gnedenko* [Probability theory and its applications. Papers of International conference devoted to 100<sup>th</sup> anniversary of B.V. Gnedenko]. Moscow, LENAND, 2012, pp. 26–30.
- Martynov V.V., Martynov P.V. Metod obrabotki i analiza vyborochnykh dannyykh [Method of sampled data processing and analysis]. *Izvestiya vuzov. Povolzhskiy region. Tehnicheskiye nauki*, 2012, no. 3, pp. 3–14.
- Katalog detaley L-34B ot seriyogo nomera 20001* [Catalogue of parts L-34B Serial numbers 20001], DRESSTA Co. LTD. ajoint venture of Komatsu America international Co end Huta Stalowa Wola s.a.catalog Czesci parts catalogue.
- Instruktsiya po remontu frontalnogo pogruzchika L-34-B ot seriyogo nomera 20001 i vyshe* [Repair instruction for front-end loader L-34B of serial number 20001 and below. DRESSTA Co. Ltd. joint venture of Komatsu America international Co end Huta Stalowa Wola s.a.
- Koks D.R., Smith V.L. *Teoriya vosstanovleniya* [Theory of restoration]. Moscow, Sovetskoe radio, 1967. 299 p.
- Franken P., Streller A., Reliability analysis of complex repairable systems by means of marked point processes. *Journal of Application Probability*, 1980, no. 17, pp. 154–167.
- Tadikamala P.R. Age Replacement Policies for Weibull Failure Times. *IEEE transactions on reliability*, 1980, vol. R-29, Iss. 1, no. 1, pp. 88–90.
- Chepurin E.V. O statisticheskikh vyvodakh dlya protsessov vosstanovleniya [On statistical conclusions for recovery processes]. *Entsyklopediya Nadyozhnost i effektivnosti v tekhnike* [Encyclopedia of reliability and efficiency in engineering]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1986, vol. 2, pp. 181–194.
- Kulseitov Z.O., Zhandarbekova A.M. Voprosy povysheniya nadyozhnosti korobki peredach gidromekhanicheskoy transmissii odnokovshovykh frontalnykh pogruzchikov [Issues of reliability increase of hydromechanical transmission gearbox of front-end shovel loaders]. *Vestnik VKGTU im. D. Serikbayeva* – Scientific journal of East Kazakhstan state technical university, 2011, no. 3, pp. 46–49.
- Zhandarbekova A.M., Kulseitov Z.O., Muzdybaev M.S. Rekomendatsii po povysheniyu nadyozhnosti korobki peredach odnokovshovykh frontalnykh pogruzchikov [Recommendations for increasing hydromechanical transmission of gearbox of front-end shovel loader]. *Vestnik VKGTU im. D. Serikbayeva* – Scientific journal of East Kazakhstan state technical university, 2010, no. 1, pp. 60–66.
- Kulseitov Z.O., Muzdybaev M.S., Zhandarbekova A.M. Optimizatsiya pokazateley nadyozhnosti korobki peredach gidromekhanicheskoy transmissii odnokovshovogo frontalnogo pogruzchika metodom modelirovaniya [Optimization of reliability factors of hydromechanical transmission of gearbox of front-end shovel loader by method of computer modeling]. *Nauchny zhurnal MON RK «Poisk»*, 2008, no. 4, pp. 240–245.