

Клименко Н.П.,  
Ивановская А.В.,  
Богатырева Е.В.,  
Попов В.В.,  
Шаратов А.С.

ФГБОУ ВО «Керченский государственный мор-  
ской технологический университет»  
e-mail: knp-878@mail.ru

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ И ОЦЕНКА  
НАДЕЖНОСТИ ПАЛУБНЫХ МЕХАНИЗМОВ  
В ЭКСПЛУАТАЦИИ

УДК 62-192

*Выполнен анализ статистической информации о ресурсных отказах брашпиль и грузовых лебедок в эксплуатации. Сделан вывод о достаточном уровне их надежности. Безотказность данных механизмов зависит от строгого соблюдения норм и требований к технической эксплуатации, а также уровня подготовки обслуживающего персонала*

**Вступление.** Большая часть палубных механизмов в процессе эксплуатации бездействует (средне годовая наработка механизмов составляет около 60 часов [1]). В то же время они должны постоянно находиться в готовности к действию, особенно в сложных погодных условиях.

Повышение безотказности палубных механизмов возможно лишь при наличии достоверной информации о повреждениях их составляющих элементов, работающих в условиях реальной эксплуатации.

**Анализ публикаций.** Исследованиями, связанными с проблемами надежности, с методами оценки технического состояния и прогнозированием ресурса палубных вспомогательных механизмов занимались такие исследователи как Б.П. Башуров, Л.В. Ефремов, В.Н. Калугин, М.И. Левин и др. Анализ работ свидетельствует о том, что на величину ресурса палубных механизмов влияет гамма эксплуатационных факторов. Поэтому оценка и прогнозирование надежности механизмов являются актуальными.

**Цель и постановка задачи.** На основании статистической информации об отказах в эксплуатации выполнить оценку надёжности судовых палубных механизмов.

**Решение поставленной задачи.** В [1] выполнено статистическое исследование надежности палубных механизмов, эксплуатируемых на судах различного назначения. В основу исследований положено получение качественных и количественных показателей надежности палубных механизмов с использованием данных о фактических отказах при их эксплуатации. При определении качественных показателей использован метод экспертных оценок.

Анализ эксплуатационной информации показывает, что основными причинами отказов палубных механизмов являются износ, поломки и обрывы. В меньшей степени проявляются отказы, обусловленные заклиниванием, заеданием, выкрашиванием, трещинами и коррозией.

Брашпиль (шпиль) – это обычно электрическая или реже гидравлическая машина, служащая для отдачи и выборки якоря. Брашпиль обслуживает обе якорные цепи – левого и правого бортов. Шпиль обслуживает только одну якорную цепь.

К элементам, определяющим надежность брашпиль относятся (рис.1): тормозное устройство; подшипники; зубья зубчатого венца червячного колеса; кулачковые муфты; крепеж крышек подшипников червячного вала.

В большинстве случаев следствием отказов элементов тормозного устройства, подшипников и шеек валов являются износные процессы. Поломки характерны для зубьев зубчатого венца червячного колеса, пальцев, вилок и рычагов переключения муфт. Обрывы чаще всего

происходят в цепи линейного контактора, питания электродвигателей, катушек тормозных электромагнитов и сигнальных ламп [2].

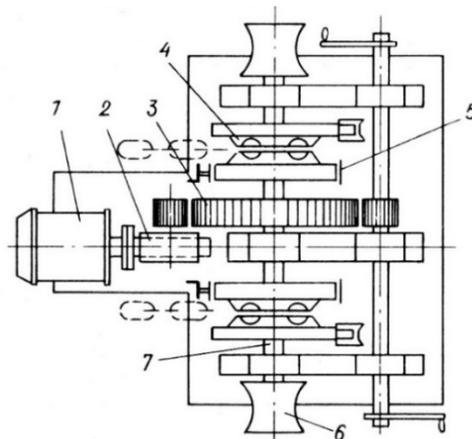


Рис. 1. Схема брашпиля электрического:  
1 – двигатель, 2 - червячный редуктор, 3 - цилиндрические шестерни, 4 - цепная звездочка,  
5 - ленточный тормоз, 6 - турачка (швартовный барабан), 7- грузовой вал.

В процессе эксплуатации брашпелей наблюдаются перегрев подшипников червячного вала, червячной пары и грузового вала, а также деформация и поломка зубьев зубчатой передачи и элементов муфт переключения. Эти обстоятельства можно объяснить недостаточной жесткостью корпуса, неправильным подбором смазочной среды, отклонениями от правил технической эксплуатации [1].

Для основных деталей грузового устройства (рис.2) характерны; трещины, изгиб, вмятины, поломка, утонение стенок, истирание отверстий вилки грузовых стрел, износ вертлюгов и гнезд упорного башмака деталей блоков, нарушение оцинковки проволок такелажа вследствие трения в блоках, износ, коррозия, трещины, разрыв звеньев у топе-нантных цепей [2].

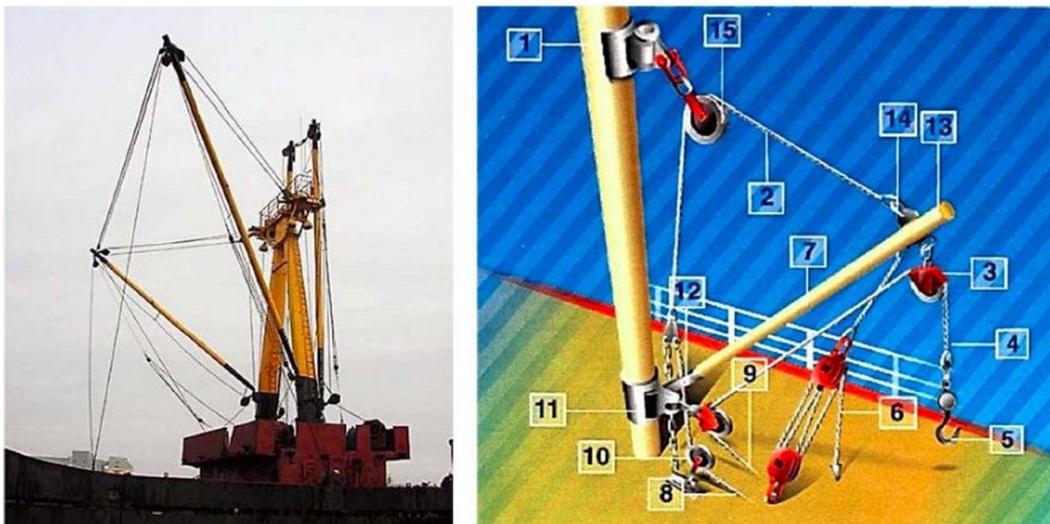


Рис. 2. Грузовая стрела  
1 – мачта, 2 – топенант, 3 – грузовой блок, 4 – грузовой шкентель, 5 – грузовой гак, 6 – оттяжка,  
7 – стрела, 8 – канат на турачку грузовой лебедки, 9 – канат на барабан грузовой лебедки,  
10 – лопарь топенанта, 11 – башмак, 12 – шпор стрелы, 13 – нок стрелы, 14 – бугель, 15 – топенант-блок.

Характерными признаками отказов электроприводных грузовых лебедок являются: повышенный нагрев подшипников, обусловленный недостаточностью смазки и их дефектами; вибрация электродвигателя из-за неправильной центровки и неисправностей соединительных муфт; повышенный шум со стуком в редукторе вследствие износа сухарей

вилки переключения скорости, отказа подшипников сателлитов, повреждений зубьев шестерен, неправильной сборки планетарного редуктора. Износу в большей степени подвержены манжеты, сухари, вилки переключения скорости, фрикционные накладки ленты. Механические повреждения свойственны зубьям шестерен [1].

Отказы паропроводных грузовых лебедок являются следствием выхода из строя золотниковых и цилиндрических блоков, уплотнительных колец неререверсивного устройства, золотника парораспределителя, вала золотниковых тяг парораспределителя и барабана.

К элементам, определяющим уровень надежности в процессе эксплуатации кранов, относятся: тормозное устройство, подшипниковый узел, зубчатая передача, муфты, вал. В большинстве случаев износу подвержены тормозная лента, шейки валов, детали подшипников и кулачковые муфты. Причинами отказов являются недостаточная износостойкость материала, нарушение режимов смазки и низкое качество смазочной среды. Поломки в основном являются следствием усталостных явлений. Они характерны для зубьев шестерен, крепежа и коксов редуктора. Усталостные повреждения определяются физико-механическими свойствами металла, частотой вращения, режимом работы, вязкостью масла и другими факторами. Прогобы валов являются следствием действия значительных нагрузок и появления пластических деформаций. Таким образом, причинами отказов грузоподъемных механизмов могут быть факторы конструктивного и технологического характера, а также качество монтажных работ [1].

Существенное влияние на надежность брашпилей и грузоподъемных механизмов оказывает уровень безотказности работы электромашин и приборов, входящих в данные механизмы. В электрических схемах предусматривают нулевую защиту при помощи реле напряжения и защиту от перегрузок при помощи тепловых реле. При срабатывании тепловых реле катушка реле напряжения лишается питания, и электродвигатель отключается от сети.

Эксплуатационные нагрузки и их опасный уровень на элементы палубных механизмов представляют собой случайные процессы или случайные величины. Поэтому показатели надежности элементов имеют вероятностный характер.

Для определения вероятности безотказной работы необходимы вероятностные характеристики процессов нагружения. Для большинства элементов и металлоконструкций палубных механизмов характерны нагрузки, которые меняются в процессе работы непрерывно. Случайный характер их изменения предопределяется случайностью таких факторов, как уровень и частота динамических нагрузок, скорость и направление ветра, волнение моря, переменность нагружения и т.д.

Промысловая лебедка является грузовым палубным устройством, испытывающим сложные динамические процессы не только при пусках и торможениях, но и при установившихся режимах работы. И, как следствие, имеет место большое число отказов в работе данного оборудования. Специфика работы данного оборудования связана с воздействием гидрометеорологических условий, таких как волнение, ветер, течение. В процессе подъема груза его параметры, а именно масса, форма и, как следствие, сопротивление, изменяются. Динамические нагрузки, которые испытывает неводовыборочная машина, зачастую носят не эволюционный характер. Т.е. в процессе подъема возможны зацепы (сетного полотна) за подводные объекты. Процесс подъема орудия лова с уловом характеризуется непрерывной сменой нагрузок, действующих на машину. Причиной последнего является, в основном, колебания судна. Во время крена судна на нерабочий борт нагрузки возрастают до максимальных значений, а при крене на рабочий борт падают до минимума [3,4].

В результате исследований была построена математическая модель процесса выборки невода. При выборке кошелькового невода усилие, действующее на неводовыборочную машину, складывается из двух величин – сопротивления невода при его подтягивании к судну и силы тяжести участка невода (часть в воде, часть в воздухе), которая непосредственно воспринимается лебедкой. По мере выборки часть невода, которая находится в воде, уменьшается, и сопротивление ее уменьшается. Следовательно, тяговое усилие в процессе выборки кошелькового невода постепенно уменьшается и под конец выборки становится минимальным и равным силе тяжести участка невода, которая непосредственно воспринимается лебедкой. Процесс выборки невода значительно усложняет качка судна. В результате волнения и качки судна к нагрузкам, которые определяются гидродинамическим сопротивлением невода и его весом, добавляется еще периодическая динамическая составляющая.

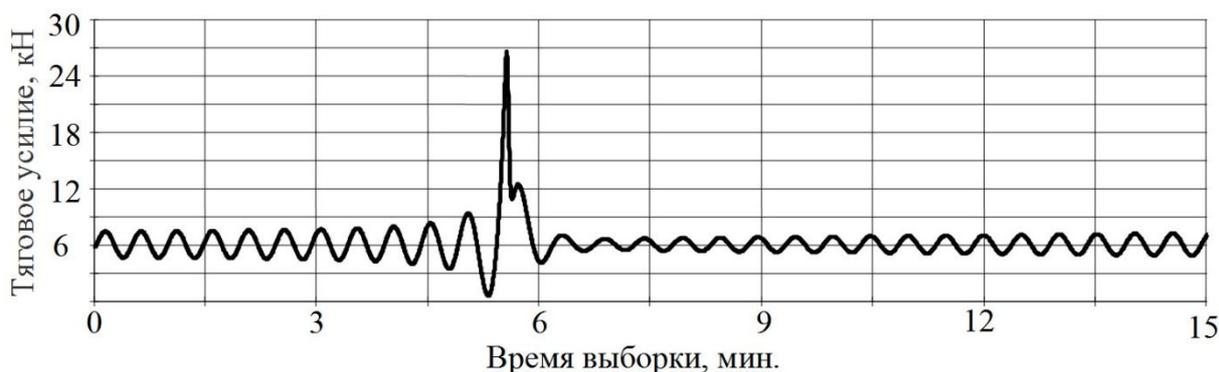


Рис. 3. График изменения тягового усилия с учетом колебаний моря при резонансе

Также были получены аналитически зависимости для определения нагрузки в процессе выборки [5,6]:

- в условиях бортовой качки (резонансный случай проиллюстрирован на рис.3)

$$T_1 = F_c + k_1 m_3 g \left\{ \frac{M_0}{R k_1 m_3 g} - \frac{F_c}{k_1 m_3 g} + K_{12} \sin \left( \frac{2}{m_0 \cdot k} \sqrt{\frac{2 k_1 m_3 g [m_1 + m_2 + 2 m_3]}{R}} \right) + \right. \\ \left. + K_{22} \cos \left( \frac{2}{m_0 \cdot k} \sqrt{\frac{2 k_1 m_3 g [m_1 + m_2 + 2 m_3]}{R}} \right) + K_3(t) \sin pt + K_4(t) \cos pt \right\};$$

- с учетом прерывистого режима работы лебедки

$$T_1 = F_c + k_1 m_3 g \left\{ \frac{M_0 + M_1}{2 R k_1 m_3 g} - \frac{F_c}{k_1 m_3 g} + K_{13} \sin \left( \frac{2}{m_0 \cdot k} \sqrt{\frac{2 k_1 m_3 g [m_1 + m_2 + 2 m_3]}{R}} \right) + \right. \\ \left. + K_{23} \cos \left( \frac{2}{m_0 \cdot k} \sqrt{\frac{2 k_1 m_3 g [m_1 + m_2 + 2 m_3]}{R}} \right) + K_3(t) \sin pt + K_4(t) \cos pt + \right. \\ \left. + \sum_{n=1}^m \left\langle L_{1n} \sin \left( \frac{n \pi}{l} t \right) + L_{2n} \cos \left( \frac{n \pi}{l} t \right) \right\rangle \right\}.$$

где  $K_{12}, K_{22}, K_3(t), K_4(t)$  могут быть найдены из начальных условий;

$l$  – время остановок лебедки.

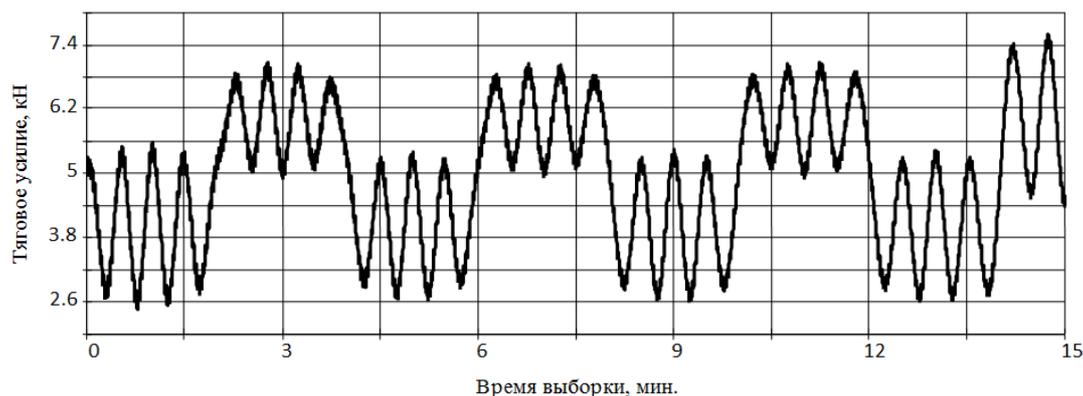


Рис. 4. График изменения тягового усилия с учетом остановок лебедки

Как видим, действующая нагрузка является случайным процессом с распределением ординат по усеченному нормальному закону, а опасный уровень – случайная величина, также распределенная по усеченному нормальному закону. В этом случае вероятность безотказной работы можно вычислить по формуле

$$P(t) = 1 - \frac{C_0 \sigma_s t_p \bar{n}}{\sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_0^2}} \exp \left[ - \frac{(\langle S_0 \rangle - \langle S \rangle)^2}{\sigma_s^2 + \sigma_0^2} \right], \quad (1)$$

где  $S(t)$  - случайная нагрузка;

$\bar{n}$  - среднее число пересечений в единицу времени уровня процессов  $S(t)$ ;

$t_p$  - расчетное время работы элемента;

$$C_0 = C_1 C_2 \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{1}{\frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{S_{\max} - \langle S \rangle}{\sigma_s \sqrt{2}} \right) - \Phi \left( \frac{S_{\min} - \langle S \rangle}{\sigma_s \sqrt{2}} \right) \right]}; \quad (3)$$

$$C_2 = \frac{1}{\frac{1}{2} \left[ \Phi \left( \frac{S_{0\max} - \langle S_0 \rangle}{\sigma_0 \sqrt{2}} \right) - \Phi \left( \frac{S_{0\min} - \langle S_0 \rangle}{\sigma_0 \sqrt{2}} \right) \right]}, \quad (4)$$

где  $\Phi$  – функция Лапласа;

$S_{\max}, S_{\min}$  - максимальное и минимальное значения нагрузки;

$S_{0\max}, S_{0\min}$  - максимальное и минимальное значения опасного уровня нагрузки;

$\sigma_s, \sigma_0$  - средние квадратические отклонения нагрузки и ее опасного уровня;

$\langle S \rangle, \langle S_0 \rangle$  - математические ожидания нагрузки и ее опасного уровня.

Для обработки информации и оценки надежности палубных механизмов воспользуемся результатами исследования [1], приведенными в таблице 1.

Выполнить оценку надёжности палубных механизмов можно с помощью распределения вероятностей безотказной работы её элементов, которое задаётся законом Вейбулла [7]:

$$F(R) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{R}{a_c} \right)^{b_c} \right], \quad (5)$$

где  $a_c$  и  $b_c$  - параметры закона распределения вероятностей безотказной работы.

Статистическая информация по ресурсным отказам палубных механизмов

№ п/п	Наименование механизма	Количество обследованных механизмов	Количество отказов механизмов	Параметр потока отказов, 1/тыс.ч	Средняя наработка на отказ, ч
1	Брашпиль	43	8	0,34	2040
2	Грузовая лебедка	51	12	0,43	2330

Задавшись вероятностью безотказной работы механизмов ( $R$ ) можно получить функцию распределения вероятностей безотказной работы системы  $F^*\left(\frac{R}{t}\right)$  для различных значений величины наработки.

Для нормирования данной функции воспользуемся коэффициентом

$$F_1 = 1 - \exp\left[-(a_c(t))^{-b_c(t)}\right]. \quad (6)$$

Тогда нормированная функция распределения вероятностей будет иметь вид [7]:

$$F^*\left(\frac{R}{t}\right) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{R}{a_c(t)}\right)^{b_c(t)}\right] / \left(1 - \exp\left[-(a_c(t))^{-b_c(t)}\right]\right), \quad 0 \leq R \leq 1, \quad (7)$$

где  $a_c(t)$  и  $b_c(t)$  – параметрические функции закона распределения вероятностей безотказной работы.

По полученным значениям нормированной функции  $F^*\left(\frac{R}{t}\right)$  для наработки  $t = 500$  ч, построены зависимости функции распределения вероятностей безотказной работы палубных механизмов (рис.5).

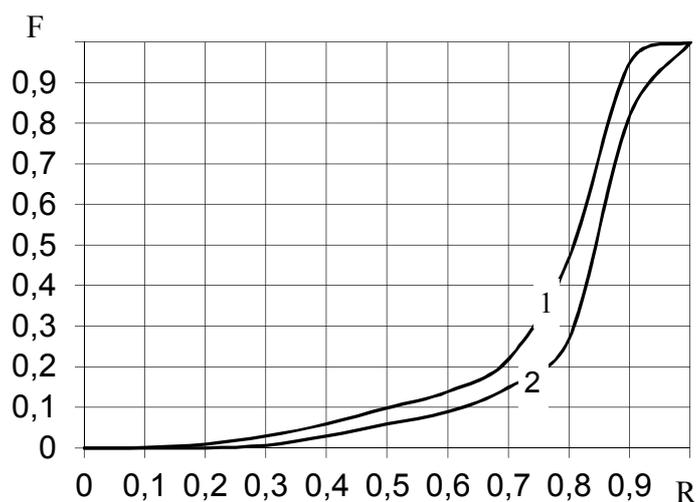


Рис.5. Нормированная функция распределения вероятностей безотказной работы палубных механизмов:  
 1 – брашпиль, 2 – грузовая лебедка

**Вывод.** Анализ информации об отказах брашпильей и грузовых лебедок в эксплуатации показал достаточный уровень их надежности. Однако следует обратить внимание

на то, что безотказность данных механизмов зависит от строгого соблюдения норм и требований к технической эксплуатации, а также уровня подготовки обслуживающего персонала.

### Литература

1. Башуров Б.П. Функциональная надежность и контроль технического состояния судовых вспомогательных механизмов: учебное пособие / Б.П. Башуров, А.Н. Скиба, В.С. Чебанов. – Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф.Ушакова, 2009. – 192с.
2. Калугин В.Н. Анализ отказов и повреждений судовых технических средств: учебное пособие / В.Н. Калугин, И.В. Логишев. – Одесса, 2009. – 71с.
3. Дверник, А.В. Устройство орудий рыболовства/ А.В.Дверник, Л.Н. Шеховцев. - М.:Колос, 2007.- 272 с.
4. Ивановская А.В. Анализ факторов, влияющих на эффективность работы неводо-выборочного комплекса. / А.В. Ивановская, Е.В. Богатырева // Современные проблемы теории машин: сборник научных трудов международной научно-практической конференции г. Новокузнецк, 19-20 мая 2015г.
5. Ивановская А.В. Исследование динамических процессов при работе неводо-выборочного комплекса. / А.В. Ивановская, Е.В. Богатырева // Инновационные технологии в науке и образовании ИТНО-2015: сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию ДГТУ. Г. Ростов-на-Дону – п.Дивноморское, 7-10 сентября 2015. С. 198-203.
6. Ивановская А.В. Формализация динамики работы неводо-выборочного комплекса на этапе кошелькования / А.В. Ивановская, Е.В. Богатырева // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства: [«Проблемы надежности машин и средств механизации сельскохозяйственного производства»]. – 2015. – Вып. 163.– С. 178-185.
7. Анилович В.Я. Способ оценки надёжности системы по выборочным данным о надёжности элементов [Текст] / В.Я. Анилович, А.С. Гринченко, Н.П. Клименко // Новые решения в современных технологиях: сб. науч. тр. / Вестник ХГПУ. Харьков, 1999. – Вып. №66.- С.102-106.

### Summary

**N. Klymenko, A. Ivanovskaja, E. Bogatyreva, V. Popov, A. Sharatov.** Analysis of failure and reliability assessment of use deck mechanisms

*The analysis of statistical information on the resource failures windlasses and winches to operate. It was concluded that a sufficient level of reliability. Reliability of these mechanisms depends on strict adherence to the rules and requirements for the technical operation, as well as the level of training of staff*

1. Bashurov B.P. Funktsionalnaya nadezhnost i kontrol tehniceskogo sostoyaniya su-dovyih vspomogatelnyih mehanizmov: uchebnoe posobie / B.P. Bashurov, A.N. Skiba, V.S. Chebanov. – Novorossiysk: MGA imeni admirala F.F.Ushakova, 2009. – 192s.
2. Kalugin V.N. Analiz otkazov i povrezhdeniy sudovyih tehniceskikh sredstv: ucheb-noe posobie / V.N. Kalugin, I.V. Logishev. – Odessa, 2009. – 71s.
3. Dvernik, A.V. Ustroystvo orudiy rybolovstva/ A.V.Dvernik, L.N. Shehovtsev. - M.:Kolos, 2007.- 272 s.

4. Ivanovskaya A.V. Analiz faktorov, vliyayuschih na effektivnost raboty nevodovyiborochnogo kompleksa. / A.V. Ivanovskaya, E.V. Bogatyireva // *Sovremennyye problemy teorii mashin: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii g. Novokuznetsk, 19-20 maya 2015g.*
5. Ivanovskaya A.V. Issledovanie dinamicheskikh protsessov pri rabote nevodovyiborochnogo kompleksa. / A.V. Ivanovskaya, E.V. Bogatyireva // *Innovatsionnyie tehnologii v nauke i obrazovanii ITNO-2015: sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyaschennoy 85-letiyu DGTU. G. Rostov-na-Donu – p.Divnomorskoe, 7-10 sentyabrya 2015. S. 198-203.*
6. Ivanovskaya A.V. Formalizatsiya dinamiki raboty nevodovyiborochnogo kompleksa na etape koshelkovaniya / A.V. Ivanovskaya, E.V. Bogatyireva // *Vestnik Harkovsko-go natsionalnogo tehničeskogo universiteta selskogo hozyaystva: [«Problemyi nadezhnosti mashin i sredstv mehanizatsii selskohozyaystvennogo proizvodstva»]. – 2015. – Vyip. 163.– S. 178-185.*
7. Anilovich V.Ya. Sposob otsenki nadYozhnosti sistemyi po vyiborochnyim dannym o nadYozhnosti elementov [Tekst] / V.Ya. Anilovich, A.S. Grinchenko, N.P. Klimenko // *Novyye resheniya v sovremennyih tehnologiyah: sb. nauch. tr. / Vestnik HGPU. Harkov, 1999. – Vyip. #66.- S.102-106.*