

Горбенко А.Н.,
Ениватов В.В.,
Ивановская А.В.,
Клименко Н.П.,
Конюков В.Л.

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

ОЦЕНКА И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПАЛУБНЫХ МЕХАНИЗМОВ

УДК 62-192

Выполнен анализ информации об отказах и предложены пути повышения надежности швартовных, траповых и якорных лебедок. Полученные зависимости нормированной функции распределения и вероятности безотказной работы палубных механизмов позволили сделать вывод о том, что механическая надежность механизмов судовых лебедок очень часто зависит от безотказной работы вспомогательного электрического оборудования

Вступление. Средне годовая наработка судовых лебедок составляет примерно 60-80 часов [1]. В то же время они должны постоянно находиться в исправном работоспособном состоянии. Повышение безотказности судовых лебедок возможно лишь при наличии достоверной информации об их отказах в эксплуатации.

Анализ публикаций. Исследованиями, связанными с проблемами безотказности и прогнозированием ресурса палубных механизмов занимались такие исследователи как Б.П. Башуров, Л.В. Ефремов, В.Н. Калугин 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 и обосновать пути обеспечения требуемого уровня надежности судовых лебедок.

Решение поставленной задачи. В [1] выполнено статистическое исследование надежности палубных механизмов. В основу исследований положено получение показателей надежности палубных механизмов с использованием данных о фактических отказах при их эксплуатации.

К дефектам и повреждениям этих устройств относятся: коррозионное разъедание, трещины и поломка якоря, износ штырей и осей поворотных лап; износ, коррозия и механические повреждения якорной цепи; износ якорных клюзов, подушек и резьбы винта стопора; истирание и поломка кнехтов, киповых планок [2].

Современные грузовые лебедки должны отвечать ряду требований, основными из которых являются:

- достаточно высокая производительность грузовых операций (до 50 ц/ч с номинальным грузом и до 70-80 ц/ч половинным грузом);
- необходимый диапазон изменения рабочих скоростей, достаточный для оперативной и безотказной работы различными грузами;
- высокая надежность электропривода, т.е. безотказная работа лебедки в течении разгрузки (погрузки) судна;
- простота схемы и конструкции, удобство обслуживания;

- минимальные расход электроэнергии, стоимость оборудования и площадь необходимая для его размещения.

По принципу действия швартовные лебедки делятся на простые и автоматические, по роду привода — гидравлические и электрические. Отличительной особенностью автоматических швартовных лебедок является способность поддерживать натяжение швартовного каната перед барабаном лебедки в заранее установленных пределах. При увеличении нагрузки лебедка автоматически включается на режим травления, а при уменьшении нагрузки — на режим выбирания. Выбирание каната производится до тех пор, пока нагрузка не превысит пределы, установленные для данной лебедки.

Недостатком указанной лебедки является жесткая связь барабана с храповым механизмом, работающим резко, толчками, что приводит к большим динамическим нагрузкам в канате и снижает надежность лебедки [3].

Применение лебедок позволяет расширить диапазон использования стальных тросов, обладающих большой долговечностью, сравнительно с синтетическими и манильскими. Постоянная готовность автоматической швартовной лебедки, их достаточное количество на судне способствуют общему сокращению продолжительности швартовных операций также в случаях, когда лебедки используются при ручном управлении.

Повышение надежности лебедки можно достичь путем обеспечения постоянства натяжения каната в режиме слежения за волной. Для этого лебедку снабжают ускоряющим редуктором и тормозной гидромuftой [3].

Все множество автоматических швартовных лебедок, используемых на судах по принципу измерения усилия в швартовном канате, можно разделить на две основные разновидности: системы с датчиком натяжения и системы без датчика натяжения. Вид применяемой измерительной системы полностью определяет характер работы электропривода.

Несмотря на то что применение автоматических швартовных лебедок обеспечивает высокую степень механизации и автоматизации швартовных операций, их нельзя рекомендовать к установке на судах всех типов и назначений по следующим причинам.

Автоматическая швартовная лебедка представляет собой довольно сложный и дорогостоящий механизм, требующий для размещения много места на палубе и квалифицированного ухода в эксплуатации. На судне нецелесообразно устанавливать менее двух, а иногда и четырех лебедок, поэтому рекомендуется применять их на крупных грузовых судах, где есть мощная энергетическая установка, высококвалифицированный штат команды и достаточно места для размещения лебедок [4].

Якорная лебедка – элемент оборудования, применение которого оправданно практически на всех судах при массе якоря более 20 кг. Если лебедка сломается, ничем заменить ее не удастся. Этот механизм работает в тяжелых условиях, поэтому он должен иметь высокую надежность.

Обеспечение требуемого уровня надежности лебедок достигают с помощью защиты и сигнализации в якорно-швартовочных устройствах.

Электропривод брашпиля должен обеспечивать спуск якорей и якорных цепей в тормозном режиме, кроме того тормозное устройство автоматически затормаживает привод при его включении или при исчезновении напряжения питания. Для предотвращения работы оборудования в аварийных режимах применяют следующие виды защиты: защита от КЗ, защита от перегрузок, минимальную защиту.

Между электродвигателем и редуктором брашпиля устанавливают муфту предельного момента, которая при двукратном моменте сопротивления должна проворачиваться, предохраняя механизм от поломки [4].

Утонение звеньев якорных цепей не должно быть более 10% от первоначальной. Изношенные звенья на небольшой длине с разрешения Регистра восстанавливают наплавкой. Если утонение звеньев превышает допускаемые нормы, их заменяют. Ослабление распорок (контрфорсов) устраняют нагревом звена до 850...900°C с последующим обжатием специальным приспособлением [4].

Надежность палубных механизмов учитывает все этапы их эксплуатационных режимов. Согласно ГОСТ 27.301-95 надежность характеризует свойство изделия выполнять свои функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки.

Динамические процессы, возникающие при работе судовых палубных устройств можно рассматривать как совокупность независимых случайных величин, определяющих опасный уровень нагрузки. В данном случае присутствуют нагрузки от сил тяжести поднимаемых грузов случайной массы, пиковые, независимые друг от друга нагрузки, возникающие при соударениях в зазорах или в результате наложения упругих колебаний и т.д.

В этом случае [5] вероятность безотказной работы подобного рода грузовых устройств вычисляется как

$$P_n(t) = \left(\frac{C'_0}{2} \Phi \left(\frac{(S_{0\max} - S_{\min}) - (\langle S_0 \rangle - \langle S \rangle)}{\sqrt{2(\sigma_0^2 + \sigma_s^2)}} \right) - \frac{C'_0}{2} \Phi \left(\frac{\langle S_0 \rangle - \langle S \rangle}{\sqrt{2(\sigma_0^2 + \sigma_s^2)}} \right) \right)^{nt_p},$$

где $S(t)$ - случайная нагрузка;

n - количество нагружений в единицу времени;

t_p - расчетное время работы элемента;

$$\frac{C'_0}{2} = \frac{1}{\frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{(S_{0\max} - S_{\min}) - (\langle S_0 \rangle - \langle S \rangle)}{\sqrt{2(\sigma_0^2 + \sigma_s^2)}} \right) - \Phi \left(\frac{(S_{0\min} - S_{\max}) - (\langle S_0 \rangle - \langle S \rangle)}{\sqrt{2(\sigma_0^2 + \sigma_s^2)}} \right) \right]};$$

где Φ - функция Лапласа;

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

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

Данные формулы рекомендуется использовать как на стадии проектирования палубных механизмов, так и в процессе эксплуатации для инженерных расчетов, когда общее количество нагружений за время работы nt_p находится в пределах от 1 до 200.

Характерной особенностью работы якорной и траловой промысловой лебедки являются нестационарные динамические нагрузки, возникающие на этапе перехода от отрывной стадии работы до отрыва груза (якоря, трала) от грунта. Задача определения нагрузок на тросах в процессе выборки груза до момента отрыва груза от грунта достаточно сложная, требующая многих данных, аналитическое определение которых не всегда возможно. Необходимо иметь представление о величине коэффициента трения груза о грунт дна, формы кривой, по которой провисает ваер в процессе его выборки, влияние гидрометеорологических факторов на поведение элементов системы «судно - трос - груз». Для решения данных вопросов необходимо теоретическое исследование результатов экспериментальных работ.

При выборке троса после отрыва груза от грунта его вес полностью входит в натяжение ваера. Также отсутствует трение груза о грунт дна. Угол между тросом и вертикалью невелик, и может быть принят равным нулю. Все это облегчает задачу определения динамических нагрузок. Однако, отдельно следует рассматривать переходный процесс между двумя стадиями выборки тросов, а именно момент отрыва груза от грунта. Экспериментально проверено, что в этот момент наблюдаются максимальные нагрузки на ваере.

Для расчета предполагаемой вероятности безотказной работы такого рода грузо-вых устройств на стадии проектирования необходимо аналитическое определение действующей нагрузки.

Математическая модель движения системы «лебедка - ваер – груз» в доотрывной стадии может быть записана в виде

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{4} \left(m_1(t) + \frac{14}{5} m_2(t) \right) r_1(t)^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \right) = (M_{ep} - m_2(t) g r_1(t)) d\varphi, \quad (1)$$

где $m_1(t)$ - масса барабана лебедки;

$m_2(t)$ - приведенная масса системы «ваер – груз»;

$r_1(t)$ - линейный размер груза;

$\frac{d\varphi}{dt}$ - угловая скорость движения исследуемой системы.

С учетом вышесказанного получена зависимость для определения нагрузки

$$T = Q_2(t) \left(\sin \alpha(t) + f_{mp}(t) \cos \alpha(t) + \frac{r_1}{g} \frac{d^2\varphi}{dt^2} \right) + R(t), \quad (2)$$

По результатам теоретического исследования проведено компьютерное моделирование в среде MathCad. На рисунке 1 представлена графическая зависимость динамической нагрузки, позволяющая оценить характер процесса и прогнозировать уровень нагрузки в различные периоды их приложения. Результаты расчетов, полученные по зависимости (2) хорошо согласуются с экспериментальными данными (не превышают 10%).

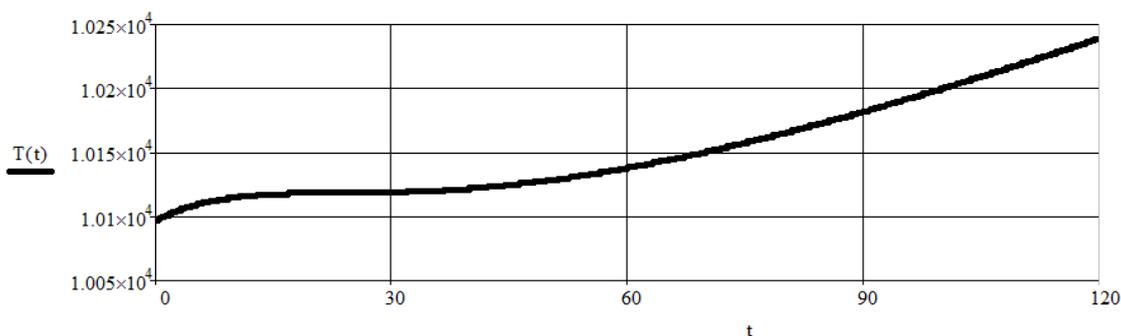


Рис.1. - Графическая зависимость динамической нагрузки, полученная в результате компьютерного моделирования в среде MathCad

Как видим, максимальная нагрузка наблюдается в момент отрыва груза от грунта.

Очевидно, что основной причиной, вызывающей появление динамических нагрузок на ваерах на волнении, является качка судна. Поэтому в полученную математическую модель динамики работы исследуемого класса палубных механизмов необходимо

внести соответствующую составляющую, описывающую воздействие гидрометеорологических факторов.

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.

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

Таблица 1.

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	Швартовная лебедка	47	22	1,56	640
2	Траповая лебедка	28	9	0,8	1250
3	Якорная лебедка	29	8	0,66	1520

Выполнить оценку надёжности палубных механизмов можно с помощью распределения вероятностей безотказной работы её элементов, которое задаётся законом Вейбулла [6]:

$$F(R) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{R}{a_c} \right)^{b_c} \right], \quad (3)$$

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

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

$$F_1 = 1 - \exp \left[- (a_c(t))^{-b_c(t)} \right]. \quad (4)$$

Тогда нормированная функция распределения вероятностей будет иметь вид [6]:

$$F^* \left(\frac{R}{t} \right) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{R}{a_c(t)} \right)^{b_c(t)} \right] / \left(1 - \exp \left[- (a_c(t))^{-b_c(t)} \right] \right), \quad 0 \leq R \leq 1, \quad (5)$$

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 $t = 1000$ ч, построены зависимости функции распределения вероятностей безотказной работы палубных механизмов (рис.2).

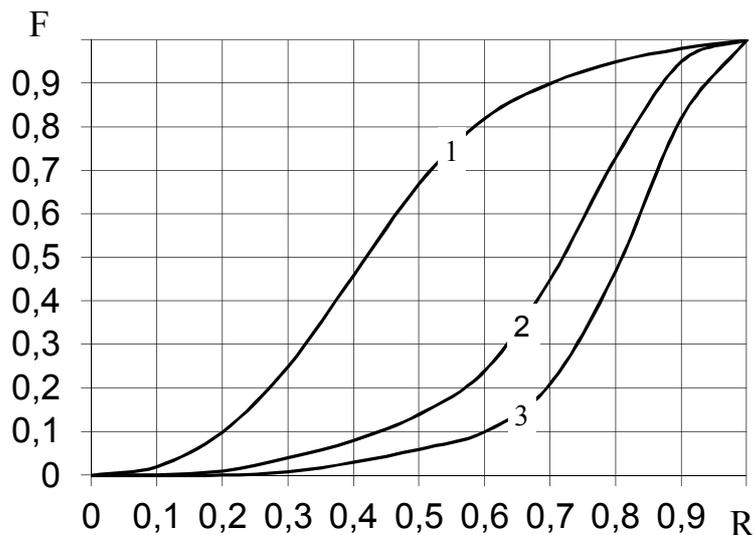


Рис.2. Нормированная функция распределения вероятностей безотказной работы судовых лебедок:
1 - швартовная; 2 – траповая, 3 – якорная.

Вывод. Анализ информации об отказах судовых лебедок в эксплуатации выявил необходимость повышения уровня их надежности. Полученные зависимости нормированной функции распределения и вероятности безотказной работы палубных механизмов позволили сделать вывод о том, что механическая надежность механизмов судовых лебедок очень часто зависит от безотказной работы вспомогательного электрического оборудования.

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. Судовая лебедка следящего каната. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/97/979200.html> (Дата обращения 05.04.2016)
4. Судостроение. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/mehanizm/shvartovnye-lebedki.shtml> (Дата обращения 05.04.2016)
5. Ивановская А.В. Исследование динамических процессов при работе неводовыборочного 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. 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

A.Gorbenko, V.Enivatov, A. Ivanovskaja, N. Klimenko, V.Konyukov. Evaluation and improving the reliability of the decks mechanisms

The analysis of information on faults and suggest ways to improve the reliability of deck winches. The resulting dependence of the normalized distribution function and the probability of failure-free operation of deck machinery led to the conclusion that the mechanical reliability of marine winches mechanisms often depend on the uptime of auxiliary electrical equipment

References

1. Bashurov B.P. Funktsionalnaya nadezhnost i kontrol tehničeskogo so-stoyaniya sudovyih 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 tehničeskikh sredstv: uchebnoe posobie / V.N. Kalugin, I.V. Logishev. – Odessa, 2009. – 71s.
3. Sudovaya lebedka sledyaschego kanata. [Elektronnyiy resurs] // Rezhim dostupu: <http://www.findpatent.ru/patent/97/979200.html> (Data obrascheniya 05.04.2016)
4. Sudostroenie. [Elektronnyiy resurs] // Rezhim dostupu: <http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/mehanizm/shvartovnye-lebedki.shtml> (Da-ta obrascheniya 05.04.2016)
5. Ivanovskaya A.V. Issledovanie dinamicheskikh protsessov pri rabote nevo-dovyiborochnogo kompleksa. / A.V. Ivanovskaya, E.V. Bogatyireva // Innovatsionnyie tehnologii v nauke i obrazovanii ITNO-2015: sbornik nauchnyih trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyaschennoy 85-letiyu DGTU. G. Rostov-na-Donu – p.Divnomorskoe, 7-10 sentyabrya 2015. S. 198-203.
6. Anilovich V.Ya. Sposob otsenki nadYozhnosti sistemyi po vyiborochnym 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.