

УДК 656.61.004.629.067

**ON THE RELIABILITY OF THE NAVIGATOR – NAVIGATION
COMPLEX SYSTEM****О НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ
«СУДОВОДИТЕЛЬ - НАВИГАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС»****В.П. Топалов**¹, *к.д.п., к.т.н., профессор*, **В.Г. Торский**¹, *к.т.н., профессор*,**В.В. Торский**², *2-й помощник***V.P. Topalov**¹, *PhD, captain, professor*, **V.G. Torskiy**¹, *PhD, professor*,**V.V. Torskiy**², *2nd Officer*¹*Odessa National Maritime Academy, Ukraine*²*SeaBird Exploration, UAE*¹*Одесская Национальная Морская Академия, Украина*²*SeaBird Exploration, ОАЭ***ABSTRACT**

The provision of sufficiently man-machine system is the most important problem to be solved with the help of the Reliability Theory. The clauses of this theory may be applied to the watch officer on the bridge of a ship. Indeed, during the period of the watch he is viewed as an element of the system "man-navigation complex", which performs many diverse functions. The reasonability of such notion is explained by the fact, that the main causes of the disasters at sea are the deficiency both of the watch personnel and the ship's navigational devices. In this connection, undoubtedly, that the increase of the reliability of the above complex is very important problem for the practical navigation.

Keywords: human-machine system, reliability, navigator, navigational bridge.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связи с важными научными и
практическими задачами**

В историческом процессе развития техники можно выделить два этапа: первый относится к каменному веку и состоит в поисках устройств, позволяющих увеличивать мускульную силу человека, второй проходит в нынешнее время и характеризуется разработкой конструкций, дающих возможность во много раз увеличить его умственные способности. В древние времена ценность человека определялась силой его мышц, в настоящее время ценятся опыт и навыки, являющиеся результатом длительного процесса проб и ошибок, в котором принимали участие физические и умственные усилия многих поколений.

В XIX-XX веках осуществлялась широкая механизация и автоматизация сложных производственных процессов, результатом чего был огромный рост производительности труда. За сто лет (с 1850 по 1950г) производительность труда в развитых странах возросла более чем в 15 раз, за этот же период производительность умственного труда возросла только вдвое. Ученые обоснованно

предполагают, что причиной столь низкого темпа роста производительности умственного труда было использование в этой области приборов и устройств с очень низкой степенью надежности. Действительно, первые электронные цифровые машины, состоявшие из огромного количества электронных ламп, реле, сопротивлений, часто выходили из строя и были ненадежными помощниками людей в выполнении сложных расчетов. Исходя из потребностей инженерной практики, в 60-е годы прошлого столетия ученые доказали, что из достаточного количества ненадежных элементов можно создать техническое устройство с высокой степенью надежности. В этот период родилась новая теория, а именно теория надежности (долговечность).

С помощью этой теории можно предсказывать «судьбы» не только технических, но и биологических конструкций. В том числе биоконструкции особого рода, т. е. человека. Так, например, установленная средняя долговечность (в годах) ели — 300, черепахи — 200, крокодила — 250. Секвойя живет несколько тысяч лет, сом — 100, а человек — 70.

Средняя долговечность технических устройств сравнительно низкая: телевизора — 8 лет, автомобиля — 8, радиоприемника — 12. Выделяются египетские пирамиды, которые «живут» несколько тысяч лет.

Обеспечение достаточной надежности функционирования системы «человек-машина» является важнейшей проблемой, которой сейчас занимается теория надежности. Объясняется это тем, что для современных крупных производственных систем характерен симбиоз человека и машины, т. е. человек, является одним из элементов системы и выполняет ряд функций. Некоторые автоматизированные системы могут правильно выполнять свои задания и без участия человека, но его присутствие считается необходимым для повышения надежности системы.

Положения теории надежности могут быть применимы к судоводителю, несущему вахту на ходовом мостике судна. Действительно, в этот период вахтенного офицера можно рассматривать в качестве элемента системы «человек — навигационный комплекс», в которой он выполняет управленческие функции. Целесообразность такого подхода объясняется тем, что основными причинами аварий на море сейчас признаются недостатки и слабости, присущие вахтенному персоналу и техническим устройствам судов, которые особенно заметно проявляются в процессе их взаимодействия («человек-машина») в сложных условиях плавания. В этой связи, очевидно, что повышение надежности функционирования названного комплекса является актуальной и важной для практики проблемой, решение которой будет способствовать снижению аварийности на флоте.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение проблемы

В связи с существенным увеличением количества и сложности технических устройств (ТУ), с которыми взаимодействует вахтенный офицер-оператор на современном судне, возникла необходимость решить две задачи:

1. распределение функций между оператором и ТУ;
2. симбиоз человека и техники.

Первая проблема требует решения задач гармоничного сочетания человеческого и машинного (технического) факторов. Проблема симбиоза человека и техники на ходовом мостике включает изучение свойств человека как звена системы, в которой офицер-оператор в совокупности с ТУ обеспечивает эффективное выполнение функций управления судном. Рациональное распределение функций между вахтенным офицером и техническими устройствами является реальным источником повышения эффективности всей системы управления судном. При этом было бы неправильным стремиться автоматизировать все функции управления, т. е. вахтенному офицеру оставить роль оператора-наблюдателя, контролера. Не следует исходить и из другой крайности, утверждая, что все «мыслительные» функции и принятие решений нельзя передавать устройствам автоматизации. Очевидно, нужно, как говорил «отец» кибернетики Н. Винер, - машине отдать машинное, а человеку — человеческое. То есть, оптимальная система, включающая человека и средства автоматики, должна обеспечивать максимально возможную эффективность ее действия путем наилучшего использования возможностей и преимуществ обеих ее составляющих. В настоящее время решением этой проблемы активно занимаются изготовители навигационных устройств, специалисты по эргономике, безопасности, проектанты, строители судов, классификационные общества, ИМО, другие морские организации. Проводится большая работа по созданию наиболее совершенных конструкций ходового мостика и его оборудования, удобной компоновке приборов, окон, дверей и других устройств, исходя из того, что это основное рабочее место, с которого осуществляется управление движением судна в самых разных условиях. Общим направлением следует считать создание интегрированных систем информационного обеспечения вахтенного персонала и управления наиболее важными судовыми устройствами и процессами. Основное назначение этой системы состоит в информационной поддержке решений вахтенного офицера путем обеспечения его своевременными, достаточными и удобно представленными данными, необходимыми для принятия решения. Результаты выполненных в этом направлении разработок изложены в публикациях классификационных обществ — Американское бюро судоходства, Норвежского регистра (DNV), Российского регистра, материалах ИМО: Конвенции СОЛАС-74, резолюциях А.529(13), А.815(19), А.869(20) и др. Очевидно, что ТУ должны выполнять те функции, которые человек не может выполнять или делает это неэффективно.

После того как распределены функции между вахтенным офицером и техническими устройствами в системе управления судном, встает проблема их эффективного взаимодействия в процессе функционирования. Эффективное функционирование судовой «человеко-машинной» системы управления зависит от множества разнообразных факторов, влияние которых учесть в полной мере практически невозможно. С целью повышения эффективности функционирова-

ния системы «вахтенный офицер – навигационный комплекс» сейчас выполняются разработки, направленные на обеспечение высокой надежности элементов этого комплекса, снабжения наиболее важных средств автоматики устройствами самодиагностики и предупреждения вахтенного офицера о возникших сбоях и неисправностях, дополнительную подготовку судоводителей по вопросам использования и обслуживания ТУ. В частности, повышенное внимание этим вопросам уделяется при подготовке вахтенных офицеров по управлению ресурсами мостика (Bridgeresourcemanagement), в процессе занятий на тренажерах, во время технической учебы на борту судов. Об этом свидетельствуют материалы, опубликованные в печатном органе Морского института Великобритании – «Seaways» [1,2,3] и других изданиях [4,5]. Следует отметить, что данная проблема будет всегда стоять перед учеными, проектантами, изготовителями систем навигации и управления судном и их пользователями – судоводителями. Характерный для современного этапа непрерывный процесс совершенствования судовых средств автоматизации производственных операций и расширение их возможностей заставляет заново рассматривать проблему: разделение труда между человеком и машиной и обеспечение их эффективного взаимодействия. Наименее разработанными, на наш взгляд, являются вопросы обеспечения надежности функционирования системы навигации и управления судном, одним из элементов, которой является вахтенный офицер. Характеристики надежности человека и машины имеют отличающуюся природу, динамику, интенсивность изменений во времени.

Цель статьи: рассматривается один из возможных подходов к определению надежности системы «человек-машина» применительно к деятельности вахтенного офицера на навигационном мостике судна.

Изложение основного материала исследований

Рассмотрим вначале некоторые общие положения, относящиеся к данной проблеме. Так под надежностью системы «человек-машина» в общем случае подразумевается совокупная характеристика техники и обслуживающих ее людей, обеспечивающая функционирование этой системы в рамках установленных для нее требований, безотказность и восстанавливаемость технических средств, безошибочность действий оператора, его медико-биологическую надежность, удовлетворение потребности в отдыхе, возможность восстановления работоспособного состояния, готовность технических средств и операторов к работе. Применительно к системе «судоводитель - навигационный комплекс» надежность ее функционирования можно определить как вероятность того, что система сохранит работоспособность, по крайней мере, на протяжении заданного промежутка времени при использовании ее в определенных условиях. Надежность системы зависит от надежности ее элементов и от того, каким образом элементы объединены в систему и какова функция каждого из них.

Различают системы нерезервированные (т.е. отсутствует дублирование отдельных элементов), резервированные («горячий» резерв), когда в систему вводятся резервные элементы с целью повышения надежности системы. В случае

отказа основного элемента, система автоматически переключается на «резервный» элемент. Наконец, есть резервированные системы с «облегченным» («холодным») резервированием. В этом случае до включения в работу каждый из резервных элементов находится в «холодном» резерве. Необходимо определенное время для его включения в работу системы.

В теории надежности принято различать два типа отказов: внезапные и постепенные. Под первым понимается мгновенный выход из строя, означающий невозможность применения системы. Постепенный отказ связан с постепенным ухудшением характеристик системы. В дальнейшем мы будем рассматривать только внезапные отказы, наиболее характерные для условий судна, а систему «судоводитель - навигационный комплекс» представлять в виде простой (без резервирования) системы. В такой системе отказ любого элемента равносителен отказу системы в целом. Для безотказной работы простой системы (рис. 1) нужно, чтобы безотказно действовал каждый из ее элементов. Можно обоснованно предполагать, что элементы С и НК отказывают независимо друг от друга.

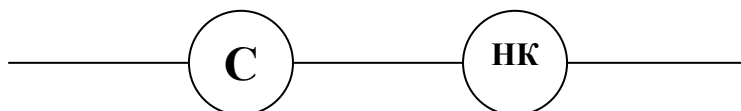


Рис. 1 Простая система «Судоводитель - навигационный комплекс»

В соответствии с положениями теории вероятности надежность простой системы, составленной из независимых элементов, равна произведению надежности ее элементов: $P = P_c \times P_{нк}$

Для количественного определения надежности данной системы введем понятие интенсивности отказов $\lambda(t)$. Под этим понимается среднее число отказов в единицу времени, приходящееся на один рабочий элемент. Под отказом судоводителя – оператора здесь подразумевается неспособность выполнять требуемые функции в системе «судоводитель – навигационный комплекс»; отказом системы – считаются неисправности, приводящие к утрате способности функционировать в заданном режиме.

Теоретически установлено [е], что надежность выражается через интенсивность отказов; в частном случае, когда $\lambda(t) = \text{const}$, надежность (вероятность того, что данный элемент будет в заданных условиях работать безотказно в течение времени t) определяется по формуле:

$$P(t) = e^{-\lambda t}.$$

Это так называемый экспоненциальный закон надежности. При последовательном соединении элементов интенсивности отказов складываются.

Вначале, анализируя надежность системы, составленной из элементов С и НК, мы предполагали, что отказы этих элементов происходят независимо друг от друга. Однако, это допущение не всегда справедливо: в условиях морского плавания на оба элемента может действовать один или совокупность случайных факторов (качка, вибрация, удары волн, температура), одновременно влияющих

на их надежность. Эти факторы определяют тот или иной режим работы системы. Для достижения цели исследования рассмотрим систему, состоящую из двух «последовательно» соединенных элементов С и НК, которая может работать в одном из трех режимов: R_1 , R_2 , R_3 , вероятность которых: $P(R_1) = 0.5$; $P(R_2) = 0.3$; $P(R_3) = 0.2$. Вследствие воздействия на систему разных по характеристикам факторов, интенсивности потока отказов элементов С и НК в разных режимах функционирования системы различаются. С большой степенью условности можно принять следующие интенсивности потоков отказов элементов С и НК: при режиме R_1 они соответственно равны 0.05 и 0.1 (отказов в час); при режиме R_2 равны 0.1 и 0.2; при режиме R_3 – 0.2 и 0.3. Определим надежность системы «С – НК» для периода навигационной вахты: $t = 4$ часа.

Условные надежности системы при трех режимах находим следующим образом:

$$P(t/R_1) = e^{-(0.05 + 0.1)t} = e^{-0.15t};$$

$$P(t/R_2) = e^{-(0.1 + 0.2)t} = e^{-0.3t};$$

$$P(t/R_3) = e^{-(0.2 + 0.3)t} = e^{-0.5t};$$

Находим полную (безусловную) надежность системы $P(t)$ по формуле полной вероятности:

$$P(t) = 0.5 e^{-0.15t} + 0.3 e^{-0.3t} + 0.2 e^{-0.5t}$$

Принимая $t = 4$, получаем:

$$P(4) = 0.5 e^{-0.6} + 0.3 e^{-1.2} + 0.2 e^{-2.0}$$

Таким образом, надежность функционирования рассматриваемой системы в период вахты равна:

$$P(4) = 0.5 \times 0.549 + 0.3 \times 0.301 + 0.2 \times 0.135 \approx 0.4$$

Если принять, что система «С-НК» будет действовать в двух режимах: R_1 и R_2 , вероятности которых 0.8 и 0.2, а интенсивности потоков отказов элементов соответственно равны: при режиме R_1 – 0.05 и 0.1, при режиме R_2 – 0.1 и 0.2 (отказов в час), расчетом аналогичным вышеприведенному получим значение надежности работы системы

$$P(4) \approx 0.5.$$

Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению

1. Несмотря на принятые условные значения вероятностей режимов работы системы («судоводитель – навигационный комплекс») и интенсивностей отказов для каждого элемента (необходимые статистические данные отсутствуют), полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что надежность системы будет выше при выполнении двух условий:

- a) высокой надежности каждого элемента;
- b) минимизации (по интенсивности и продолжительности) воздействия на систему различных по природе факторов, вызывающих отказы

оператора и/или технических средств.

2. Для навигационного комплекса первое условие может обеспечиваться за счет использования высоко надежных компонентов и резервирования («горячий резерв») отдельных частей, систематического контроля состояния и надлежащего обслуживания. В отношении судоводителя-оператора задача сложнее: статистические данные об аварийности мирового флота свидетельствуют, что человек – более слабое звено данной системы: около 80% аварий судов происходит по вине или с участием людей, в большинстве случаев судоводителей. Поэтому для вахтенного офицера необходима достаточная осведомленность (знание и навыки по использованию, обслуживанию навигационного комплекса, знание возможностей и ограничений составляющих его приборов и устройств, что достигается путем соответствующего обучения, тренажерной подготовки и т.п.), а также физическая и психологическая готовность выполнять требуемые функции и эффективно использовать технические устройства в условиях действия дестабилизирующих факторов.
3. Выполнение второго условия связано с необходимостью обеспечения при проектировании, изготовлении и оборудовании судов навигационными приборами и устройствами максимальной защищенности от негативных воздействий факторов природного и технического характера.
4. Выполнение этих условий, которое потребует решения целого ряда частных задач, обеспечит возможность эффективного взаимодействия человека и техники по системе управления судном, что приведет к снижению аварийности при операциях на море.

ЛИТЕРАТУРА:

1. M. Lutzhoft. The Technology's Great When it Works, Maritime Technology and Human Integration on the Ship's Bridge./ M/ Lutzhoft // Seaways, NI – June 2005, p. 21-23
2. N. JoyKody, Liu Zhengiang. Modern Technology. Mariners awareness, competence and confidence/ N. JoyKody, Liu Zhengiang. // Seaways, NI – September 2009, p. 27-30.
3. H. Mehrkens. Improving the Life at Sea / H. Mehrkens. // Seaways, NI – June 2003 p. 17-18.
4. S. Ahvenjarvi. Overreliance on the user of Integrated Navigation and Control System can cause Accidents./ S. Ahvenjarvi // IAMU Journal – 2007. – Vol.5, #1, p. 273-276.
5. Ch. Kuo. Safety Management and its Maritime Application./ NJ, London, 2007, p. 289
6. Вентцель Е.С. Исследование операций. / Елена Сергеевна Вентцель – Москва, Советское радио, 1972 – 552 с.

7. Топалов В.П., Торский В.Г., Торский В.В. К оценке надежности навигационных систем// Судовождение. Сб. научных трудов / ОНМА, Вып. 20-Одесса «Информиздат» 2011. – с 226-232.