

УДК 656.61.052

DOI: 10.31653/2306-5761.27.2017.210-218

**THE CONCEPT OF ECONOMIC ASSESSMENT OF  
NAVIGATION RELIABILITY****К ВОПРОСУ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ  
НАДЕЖНОСТИ СУДОВОЖДЕНИЯ**

V.G Torskiy <sup>1</sup>, *PhD, professor*, V.P. Topalov <sup>1</sup>, *PhD, Captain, professor*,  
V.V. Torskiy, *Chief officer*

В.Г. Торский <sup>1</sup>, *к.т.н., профессор*, В.П. Топалов <sup>1</sup>, *к.д.н., к.т.н., профессор*,  
В.В. Торский <sup>2</sup>, *ст. помощник капитана*

<sup>1</sup> *National University Odessa Maritime Academy, Ukraine*

<sup>2</sup> *Westerngeco*

<sup>1</sup> *Национальный университет «Одесская морская академия», Украина*

<sup>2</sup> *Westerngeco*

**ABSTRACT**

Navigation is a kind of activity aimed to accomplish economical, cultural, scientific, recreational and other human needs. Safety of the working operations and processes is the condition for its effective implementation. Reliability of navigation is a question of high importance related to seagoing vessel's goal achievement, that is in fact the reliability of the "Human - Navigational Complex" system.

The reliability of such system determined by the level of adaptation for functions performance and reflected in the ship's financial results.

Certain accident rate, not optimal shipping and related losses matches to certain level of navigation reliability.

Economic assessment allows establishment of optimal in economical sense level of navigation reliability, under which the maximum possible profit from the operation of the vessel achieves..

**Keywords:** reliability of navigation, shipping quality, navigational complex, profit.

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

В современных условиях работы морского транспорта большое значение придается проблеме обеспечения высокой надежности перевозки грузов на морских судах. Под этим подразумевается использование на всех этапах перевозочного процесса совокупности средств и мероприятий, способствующих сохранной доставке грузов в заданные пункты в установленные сроки.

Названная проблема включает ряд частных задач, среди которых особое место принадлежит обеспечению надежной работы флота, осуществляющего грузоперевозки. Актуальность решения этой задачи обусловлена спецификой деятельности морского транспорта, для которой характерна реально

существующая опасность аварий (отказов) целых производственных предприятий - морских судов. Развивающиеся тенденции мирового судоходства: увеличение интенсивности движения, количества, размеров и скорости судов способствуют повышению этой опасности, а возрастающая стоимость судов и грузов - увеличению убытков от аварий, вызванных потерей судна, груза, фрахта, загрязнением моря.

По имеющимся данным, ежегодно в море гибнет около 100 судов, число аварийных происшествий исчисляется тысячами, а связанные с этими событиями убытки составляют сотни миллионов долларов. Исследования показывают, что значительная часть всех аварий происходит по навигационным причинам, т.е. вследствие неверного управления судном во время плавания. На эти аварии приходится и большая доля убытков морского транспорта как издержек из-за недостаточной надежности перевозок грузов. Причем убытки от навигационных аварий (посадок на мель и столкновений судов) – это только часть убытков, возникающих в результате ошибок судовождения. Другая их составляющая, которую трудно количественно оценить, является следствием неэффективных в экономическом смысле решений по управлению судном в процессе грузоперевозок. К ним относятся, например, выбор неоптимального (по минимуму ходового времени) маршрута следования судна, неверные оценки текущих ситуаций и т.п. Все они в конечном итоге приводят к отклонению от наиболее выгодного пути, задержкам во время плавания и отрицательно сказываются на экономических результатах работы судна. Из практики известно, что только изредка такие решения вызваны особыми обстоятельствами (обход зоны урагана, оказание помощи бедствующему судну), поэтому в общем случае их можно причислять к недостаткам судовождения.

Из приведенных рассуждений очевидно, что эффективность работы морского транспорта прямо зависит от качества судовождения и улучшается с повышением последнего. Это предопределяет высокие требования к надежности судовождения, так как по определению «надежность – это качество, развернутое во времени».

### **Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы**

Ходовые мостики современных морских судов насыщены многочисленными приборами, индикаторами и органами управления. Такой электронный комплекс предназначен для решения задач навигации, радиосвязи, контроля технических средств судов и совместно с судоводителем образует человеко-машинную систему управления движением судна. Основное назначение этой системы состоит в обеспечении вахтенного офицера достаточными, достоверными и удобно представленными данными, необходимыми для принятия решений в различных условиях плавания. Однако опыт мореплавания убеждает, что улучшение навигационных средств не привело к существенному сокращению числа аварий. Результаты расследования аварий на море свидетельствуют, что в большинстве случаев причины их комбинированные: техника плюс люди. Другими словами, недостатки и

слабости, присущие персоналу и техническим устройствам судов, которые особенно заметно проявляются в процессе их взаимодействия («человек-машина») в сложных условиях плавания, признаются основными причинами аварий на флоте [1-5]. Очевидно, что в настоящее время повышение надежности судовождения является актуальной проблемой, требующей соответствующей разработки и решения. При этом важное значение имеет экономический аспект: сколько нужно затратить денег, чтобы получить достаточный уровень надежности судовождения и, следовательно, безопасности судна на переходе морем.

**Цель статьи** рассмотреть один из возможных подходов к обеспечению оптимального в экономическом смысле уровня надежности судовождения.

### **Изложение основного материала исследований**

Вследствие относительной новизны надежностной оценки качества транспортной продукции представляется необходимым сначала сформулировать основные определения, имеющие отношение к данной проблеме. Процесс грузоперевозки рассматривается как процесс функционирования некоей человеко-машинной транспортной системы, составляющими элементами которой являются основные производственные подразделения морской отрасли – суда и порты. Под термином «качество» понимается степень пригодности продукции для использования по назначению. Способность продукции сохранять качество при данных условиях эксплуатации определяет ее надежность. Исходя из этого и учитывая, что целевое назначение морской перевозки грузов заключается в своевременном и сохранном перемещении груза между заданными пунктами, очевидно, что ее качество определяется двумя основными свойствами: скоростью доставки и сохранностью грузов. При качественной перевозке фактические показатели названных свойств должны соответствовать установленным (плановым) стандартам.

Каждая грузоперевозка - это результат деятельности определенного комплекса «порт-судно» как звена более сложной транспортной системы, включающей судовладельца, обслуживающие предприятия. Таким образом, качество перевозки прямо зависит от качества работы этого комплекса, его элементов, их взаимодействия в процессе производства. Учитывая, что такие комплексы предназначены для многократных перевозок, необходимым условием эффективного функционирования морского транспорта следует считать надежную работу портов и флота, то есть их способность во взаимодействии стабильно поддерживать заданный уровень качества грузоперевозок.

Элементы транспортной системы находятся под влиянием многочисленных возмущений, таких как: гидрометеорологические и навигационные условия, сбои в работе смежных видов транспорта, изменения коммерческой ситуации; поэтому нужно ожидать, что в их работе будут происходить отказы. Под отказом в данном случае понимается утрата или видоизменение свойств элемента, которые существенно снижают надежность функционирования и,

следовательно, эффективность системы перевозок, но не вызывают его полного прекращения. Характерные отказы в деятельности портов: отсутствие необходимых складских помещений, недостаточная интенсивность перегрузочных работ, остановки из-за погодных условий; в практике работы флота — это частичная или полная потеря мореходных качеств судов по навигационным и другим причинам.

Надежностная оценка функционирования системы грузоперевозок, являясь достаточно общей, все же отражает лишь одну сторону дела. Необходимо помнить, что любые мероприятия по повышению надежности, улучшая качество грузоперевозок, влекут за собой дополнительные расходы. Очевидно, что окончательное суждение о целесообразности тех или иных мероприятий и необходимой надежности элементов системы перевозок должно основываться на экономических оценках.

В настоящее время имеются технические возможности для создания высоконадежных транспортных систем, например, посредством многократного резервирования; однако на практике они не реализуются, ибо стремление к максимальной надежности, как правило, оказывается экономически неоправданным. С другой стороны, нельзя допускать, чтобы надежность их работы была чрезмерно низкой, так как снижение качества перевозок (несохранность или нарушения сроков доставки груза) вызывают ухудшение экономических результатов работы флота, снижают конкурентоспособность судоходного предприятия.

Судовождение как процесс, включающий выбор пути следования судна и управление его движением, осуществляется операторами-судоводителями, которые при этом используют известные им методы, доступные пособия и технические средства. Таким образом, в качестве структурного элемента сложной «системы судовождения» можно рассматривать человеко-машинный комплекс, основным назначением которого является выработка управляющих воздействий с целью обеспечения безаварийного перемещения судов между заданными пунктами. Параметры управляющего сигнала должны соответствовать текущим задачам управления и зависят от сложившейся обстановки.

В соответствии с положениями теории надежности отказом навигационного комплекса (НК) можно считать выработку сигнала, не обеспечивающего в данной ситуации эффективного решения задач управления; в частном случае сигнал может вообще отсутствовать. Следовательно, отказом НК является и неверный выбор курса в результате ошибочного определения места судна, и неправильный маневр при расхождении со встречным судном, обусловленный неполной информацией о параметрах его движения. В первом случае отказ приводит к экономическим потерям за счет отклонения судна от намеченного маршрута, во втором - убытки появляются в случае столкновения судов, как следствие отказа.

Таким образом, отказ навигационного комплекса еще не означает аварию судна, однако в одних случаях он является причиной, а в других – предпосылкой снижения экономических результатов от грузоперевозки.

Приведенные рассуждения позволяют определять надежность судовождения как способность НК осуществлять в течение требуемого промежутка времени безотказное управление судном при заданных режимах и условиях работы. Исходя из того, что отказы НК можно считать событиями случайными (они являются результатом совместного действия многочисленных факторов), целесообразно оценивать надежность судовождения вероятностным показателем. Таким критерием, например, может служить вероятность отсутствия отказов навигационного комплекса в течение времени рейса. Однако, с позиций экономического исследования, больший интерес вызывают не сами отказы, а их экономические последствия, то есть потери от аварий и неэффективного управления. Рассмотрим эти вопросы несколько подробнее.

Навигационные аварии – события редкие и происходят большей частью в стесненных условиях (проливы, подходы к портам), где главной задачей судовождения является обеспечение безопасного плавания.

На переходах открытым морем и в океане, вдали от навигационных опасностей, основной целью управляющего комплекса становится осуществление эффективного по экономическому критерию судовождения.

Исходя из этого и в соответствии с приведенным выше определением, надежность судовождения  $R_c$  в общем случае можно описать выражением:

$$R_c = R_{нп} \times R_{эп}, \quad (1),$$

где  $R_{нп}$ ,  $R_{эп}$  – соответственно, вероятность отсутствия навигационных происшествий и экономических потерь по навигационным причинам.

При практических расчетах с целью определения фактического значения  $R_c$  имеет смысл использовать формулу (I) для конкретных судоходных маршрутов (линий). В этом случае величина  $R_{нп}$  может быть рассчитана путем синтеза через показатели надежности отдельных элементов НК. Очевидно, структура навигационного комплекса должна быть такой, чтобы величина  $R_c$  превышала минимально допустимый уровень надежности судовождения на данном маршруте, который можно определить, исходя из научно обоснованных требований к точностным, временным и другим качественным характеристикам НК. Основное требование при этом будет, по-видимому, предъявляться к точности и быстродействию НК при выработке управляющих сигналов в условиях неполной информации, что предопределяет необходимость создания структурной избыточности комплекса.

Существенной особенностью составляющей  $R_{эп}$  общей надежности является то, что один или несколько элементарных отказов такого рода не приводят к полному отказу всей системы судовождения (выход за установленные временные и качественные параметры грузоперевозки), а снижает ее эффективность, то есть приспособленность к выполнению своих функций в заданных условиях. Разумеется, низкая эффективность отрицательно влияет на экономические результаты работы судна, особенно при многократных перевозках.

Добиться полного устранения таких отказов в настоящее время практически невозможно, поэтому целесообразно установить минимальную границу снижения эффективности, выход за которую считать недопустимым. В качестве

характеристики этой границы можно принять такой уровень надежности судовождения, при котором обеспечивается получение прибыли не ниже заданной. В этом случае, наряду с рассмотренными, возникают дополнительные требования к НК: обеспечение возможности сбора и обработки достаточно большого объема информации с целью наиболее эффективного в экономическом смысле управления движением судна. Отказ системы судовождения должен как можно быстрее ликвидироваться, то есть НК работает как система с «восстановлением». Это обуславливает необходимость создания информационной и временной избыточности управляющего комплекса.

На основе изложенного можно сделать заключение о том, что надежность, являясь свойством управляющего навигационного комплекса, придает ему определенную ценность, которая определяется степенью приспособленности НК к выполнению своих функций и проявляется в финансовых результатах работы судна. Действительно, каждому уровню надежности судовождения соответствует определенный уровень аварийности, неоптимальных перевозок и связанных с этим убытков.

В общем случае система будет обладать оптимальной в экономическом смысле надежностью, если от ее эксплуатации, при прочих равных условиях, получается максимально возможная прибыль. Зная функциональную зависимость прибыли от надежности, можно найти зону экономически целесообразного повышения надежности судовождения. Однако, практически это трудно осуществимая задача. В качестве одного из более простых случаев рассмотрим следующий. Пусть два уровня надежности судовождения (все другие условия одинаковы) характеризуются, соответственно, величинами:

$P1, P2$  — вероятности безотказной работы НК;

$D1, D2$  — доходы рассматриваемых судов от грузоперевозок;

$C1, C2$  — затраты на создание и поддержание уровня надежности.

При этом соблюдаются условия:  $C2 > C1$ ;  $D2 > D1$ , то есть во втором случае система надежней, что потребовало дополнительных затрат:

$$\Delta C = C2 - C1. \quad (2)$$

Очевидно, увеличение надежности до уровня  $P2$  имеет смысл в случае, если  $\Delta D = D2 - D1 > \Delta C$ . В финансовом результате функционирования второй

$$P = \Delta D - \Delta C \quad (3)$$

Таким образом, повышение надежности системы судовождения может выступать в качестве своеобразного источника дополнительной прибыли. Положительная составляющая этой прибыли  $\Delta D$  создается как результат повышения надежности судовождения и образуется за счет двух источников: сокращения ходового времени, то есть в конечном итоге увеличения провозной способности судна, и предотвращения возможных убытков в результате навигационных аварий.

Формулу (3) можно использовать в практических расчетах для оценки экономической целесообразности повышения надежности НК судов, работающих на определенных маршрутах. Расходы  $\Delta C$  складываются из дополнительной стоимости элементов НК (навигационных устройств) и повышения стоимости суточного содержания судна за счет добавочных

амортизационных отчислений. Соответствующая величина  $\Delta C$  может быть найдена расчетным путем.

В более широком плане, задача оптимизации надежности судовождения должна решаться по следующим направлениям:

- обеспечение максимальной надежности НК при ограничении его стоимости;

- обеспечение требуемой надежности при минимальных затратах на создание и эксплуатацию навигационного комплекса.

Для решения этих задач необходимо выполнить дополнительные исследования, этапы которых можно сформулировать следующим образом:

1. Оптимизация надежности элементов НК по критерию стоимости.

2. Обоснование требований к надежности системы судовождения в целом, исходя из разработанных нормативов функционирования НК в предвидимых реальных ситуациях работы судна.

3. Обоснование структурных схем использования элементов НК в различных ситуациях (условиях) плавания, как «перестраивающейся» навигационной системы, обеспечивающих максимальную надежность судовождения.

4. Оптимальный по максимуму надежности НК подбор элементов навигационного комплекса, с учетом условий предстоящей эксплуатации судна и ограниченного уровня затрат.

5. Обоснование оптимальных режимов технического обслуживания, профилактики, ремонта средств навигации и связи — элементов НК.

По многим упомянутым вопросам уже давно ведутся исследования, по некоторым начаты разработки, и они еще ждут своего разрешения.

При этом необходимо учитывать, что в реальных условиях работы системы судовождения периодически изменяется взаимодействие и значимость компонентов надежности, к которым относится число звеньев НК, характер их связей и надежность каждого звена.

Звено системы образуют элементы, обеспечивающие решение различных частных задач судовождения. Последние в зависимости от содержания могут быть причислены к одной из трех групп, функции которых состоят в следующем:

1. Сбор и обработка информации — выработка, передача, восприятие, переработка и представление информации о сложившейся навигационной обстановке.

2. Выработка управляющего сигнала — анализ поступивших данных и выработка сигнала управления судном, соответствующего конкретной ситуации.

3. Исполнение сигнала, то есть трансляция его на органы управления судном и воздействие с их помощью на параметры движения.

Каждая группа задач решается соответствующей группой звеньев, которые по этому признаку можно классифицировать как информативное, управляющее, исполнительное. Навигационная система в каждом конкретном случае создается путем последовательного соединения указанных групп звеньев, однако внутри

этих групп звенья могут соединяться по любой схеме: последовательно, последовательно-параллельно и параллельно, в зависимости от ситуации.

Таким образом, общую надежность судовождения  $P_c$  можно выразить через надежности соответствующих групп звеньев, то есть:

$$P_c = P_1 \times P_2 \times P_3 \dots P_i, \quad (4)$$

что в совокупности с формулой (1) создает предпосылки для оценки соответствия экономически целесообразной надёжности НК расчетному минимально допустимому ее уровню при заданных условиях плавания судна.

Следует отметить, что характерной особенностью навигационного комплекса является дублирование с помощью разнотипных звеньев. Это значит, что для решения одной задачи параллельно включаются несколько звеньев, реализующие разные принципы. Большинство звеньев первой группы используется эпизодически и, как правило, не одновременно. Они включаются в работу по усмотрению оператора – судоводителя с целью уточнения или получения данных о текущей обстановке. Таким образом, в процессе управления судном производится, по существу, оперативный набор рабочей схемы навигационного комплекса, то есть перестройка управляющей системы. При этом следует иметь в виду, что наличие данного звена в составе НК еще не означает возможности его использования в рабочей схеме, так как некоторые из них неавтономны и работают только при определенных условиях (в зоне действия береговых систем, при отсутствии помех и т.п.)

Надежность навигационного комплекса в значительной мере определяется надежностью человеческого звена, тем более, что от этого зависит правильность выбора схемы управляющего комплекса в конкретной ситуации. Проблема надежности действий человека в психологии почти не разработана. Одним из труднейших вопросов при этом считают установление критериев надежности. Дело в том, что описание свойств человека-оператора еще не дает достаточных оснований для суждений о надежности его работы. В составе системы оператор выступает как звено саморегулирующееся по не изученным пока законам, и это особенно явно проявляется в критических ситуациях.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют, что надежность человека-оператора в общем случае обусловлена тремя факторами:

– степенью инженерно-психологической согласованности техники с психофизиологическими возможностями оператора для решения возникающих у него задач;

– уровнем подготовки и натренированности оператора при выполнении задач;

– физиологическими данными, в частности особенностями нервной системы, состоянием здоровья, порогами чувствительности, а также психологическими особенностями его личности.

В практической деятельности надежность оператора в значительной мере зависит от характера решаемой задачи, условий работы, особенностей техники и т.п. Нужно также учитывать компенсаторные возможности человека-оператора, позволяющие в данном конкретном виде деятельности восполнить недостатки



одних качеств за счет других. Однако человек способен и положительно влиять на надежность системы. Он может обнаруживать и устранять отказы машины в случае их возникновения, может, даже при отдельных сбоях, удерживать вахтенные параметры машины в заданных пределах и не допускать при этом ее полного отказа. Человек с его большими приспособительными и творческими возможностями самим фактом своего участия в системе управления судном способствует повышению ее надежности.

### **Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению**

Следует отметить, что поднятые в настоящей статье вопросы рассмотрены в постановочном плане и далеко не исчерпывают всех проблем экономического обоснования необходимой надежности морских грузоперевозок и возможных путей их решения. Вместе с тем очевидно, что рассмотренный подход позволяет объективно оценить достигнутый в этом отношении качественный уровень и наметить эффективные пути его дальнейшего улучшения.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ahvenjarvi S. Poor Monitoring of the Navigation and Steering Equipment in causes the reaction time in Fault Situations. /S. Ahvenjarvi / 7-th Annual General Assembly and Conference. October 16-18, 2006. The International Association of Maritime Universities.
2. Hadnett E. Bridge too Far. / E. Hadnett // «Seaways», NI, London, Jan, 2008
3. N.Joykody, Liu Zhengiang. Modern Tehnology. Mariners awareness, competence and confidence/ N.Joykody, Liu Zhengiang // Seaways, NI- September 2008, p. 27-30
4. Lutzhoft M. The Technology Great when it Works. Maritime Technology and Human Integration on the Ship's Bridge / «Seaways», NI, London, June, 2005.
5. Топалов В.П., Торский В.Г., Торский В.В. о надежности функционирования системы «Судоводитель - навигационный комплекс»// Судовождение. Сб. Научных трудов/ ОНМА, Вып. 22 – Одесса, «Информиздат», 2013 –с. 211-218