

УДК 656.61.052

Повышение достоверности навигационной информации в ходе несения штурманской вахты при заданных потерях

В.Л. Душин, М.А. Пасечников, В.И. Меньшиков

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра судовождения

Аннотация. Рассматриваются вопросы организации и выбора критерия оптимизации системы контрольных мероприятий, повышающих достоверность навигационной информации при несении штурманской вахты.

Abstract. In the paper questions of organization and choice of an optimization criterion of the control measures enhancing the reliability of navigation information for watch keeping have been considered.

Ключевые слова: навигационная информация, потери, достоверность
Key words: navigation information, losses, reliability

1. Введение

В последние десятилетия основное внимание в судоходной индустрии уделяется совершенствованию конструкции судов, автоматизации производственных процессов, повышению надежности механизмов, устройств и оборудования на основе использования современных достижений в области судостроения и приборостроения. При этом используются теоретические аспекты эргономики для создания навигационных систем и средств морской связи, компьютерных технологий. Основной целью принятых в этом направлении мер было повышение безопасности и эффективности эксплуатации судов, обеспечение своевременной и сохранной доставки грузов в условиях жесткой конкуренции на морских путях. Вместе с тем, несмотря на все усилия и достигнутые результаты в совершенствовании судовой техники, аварийность в мировом флоте остается еще высокой. Статистика аварий при эксплуатации судов убедительно свидетельствует, что в подавляющем большинстве случаев (80-90 %) аварийные происшествия, опасные инциденты создаются с участием или по вине "человеческого элемента".

Минимизация количества аварийных навигационных происшествий напрямую зависит от эффективности функционирования навигационной вахты, которая в конечном итоге определяется качеством информации, передаваемой от постов управления техническими средствами судовождения в виде докладов капитану судна. К числу параметров, определяющих качество докладов в части обеспечения безопасной эксплуатации судна, следует в первую очередь отнести полноту, своевременность и достоверность таких докладов. В рамках требований Международной Конвенции ПДНВ-78/95 выделенные параметры качества докладов на поддержание состояния безопасной эксплуатации судна в свою очередь, зависят от того, как организован технологический процесс преобразования информации в системе несения навигационной вахты.

2. Оценка потерь при ошибках в командах по управлению состоянием безопасности

Пусть задан технологический процесс преобразования информации в системе несения навигационной вахты, для которого определены условия оптимизации в виде безусловной оптимизации некоторого функционала вида:

$$\Phi(f, t, r, w) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где f, t, r, w – соответственно позитивная полнота, время, достоверность и стоимость (приведенные затраты) преобразования навигационной информации.

Анализ различных вариантов технологического процесса по преобразованию навигационной информации, идущего на ходовом мостике судна (процессы отражены в Международных, региональных и национальных руководящих документах), позволяет построить его обобщенную схему в виде конечного числа m структурно-однотипных фаз, выполняемых последовательно как в пространстве, так и во времени. К числу структурно-однотипных фаз можно отнести такие, которые реализуют:

- основные технологические операции преобразования информации $X_j, j \in m = \{1, 2, \dots, m\}$;
- операции контроля достоверности преобразования навигационной информации Y_j ;
- операции по исправлению ошибок преобразования Z_j , которые чаще всего выбираются однозначно при известных операциях X_j и Y_j .

Штурманская вахта организована так, что на каждой j -й фазе имеют место информационные связи такие, например, как

$$X_j \rightarrow Y_j; Y_j \rightarrow Z_j; Z_j \rightarrow Y_j; Y_j \rightarrow X_{j+1},$$

причем связь $Y_j \rightarrow X_{j+1}$ свидетельствует о том, что на следующую, $(j+1)$ -ю фазу навигационная информация будет передаваться лишь при отсутствии в ней какой-либо обнаруженной ошибки.

В некоторых отдельных случаях несения штурманской вахты в структурно-однотипных фазах могут отсутствовать операции Y_j и Z_j , но, чтобы не нарушать общности поставленной задачи, будем считать, что и на них имеет место некоторый "фиктивный" контроль, обладающий нулевой эффективностью.

Здесь следует заметить, что позитивная полнота навигационной информации, сконцентрированной в команде капитана, обеспечивается в технологическом процессе преобразования путем выполнения всех необходимых операций X_j . В то же время своевременность выполнения команд капитана будет определяться временем исполнения всех операций X_j , Y_j и Z_j , а достоверность – правильностью выполнения X_j , Y_j и Z_j и выбором соответствующих Y_j .

Как правило, при организации информационного технологического процесса штурманской вахты параметры позитивной полноты информации и своевременности подачи команды на управление состоянием безопасности мореплавания могут учитываться достаточно хорошо и отвечать установленным Международным и национальным нормам. Иначе дело обстоит с параметром достоверности навигационной информации. Так, в большинстве функционирующих систем несения штурманской вахты достоверность выходной информации (команды на управление) очень низкая. Поэтому при организации информационного технологического процесса в системе несения штурманской вахты важным и актуальным является выбор оптимальных операций контроля Y_j . Совокупность операций контроля, используемых для реализации Y_j , $\forall j \in m$, в общем случае может образовать систему контроля, объединенную общей целью – обеспечением достоверности выходной навигационной информации. В такой системе операции Y_j , $\forall j \in m$ должны быть взаимосвязанными информационно, функционально и логически (Еремин и др., 2011).

Пусть система информационного технологического контроля штурманской вахты, предназначенная для обеспечения достоверности выходной навигационной информации, представлена структурой

$$K = \{k_{rj}\}, r, j \in m,$$

причем

$$k_{rj} = \begin{cases} 1, & \text{если на } j\text{-й фазе имеет место операция } Y_j, \text{ использующая} \\ & \text{избыточность, вводимую на } q\text{-й фазе при } q \leq r \leq j; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

т.е. если $k_{qj} = 1$ и $q \leq r \leq j$, то $k_{rj} = 1 \forall q, r, j \in m$.

Пусть при решении некоторой функциональной задачи, решаемой штурманской вахтой с частотой ω , капитаном судна или его замещающим вахтенным помощником формируется выходная команда на управление состоянием безопасности мореплавания, содержащий M m -разрядных показателей. Тогда экономические потери Ω от недостоверности навигационной информации на выходе штурманской вахты (в команде капитана или его замещающего) можно оценить так

$$\Omega = \langle \Omega \rangle M \omega [1 - (1 - P_1)^m],$$

где $\langle \Omega \rangle$ – усредненная величина потерь, а P_1 – вероятность появления ошибки в выходной команде на управление состоянием безопасности мореплавания, равная

$$P_1 = \sum_r^m p_r \prod_{j=r}^m (1 - K_{обн\ j} k_{rj}),$$

где $K_{обн\ j}$ – коэффициент обнаружения ошибок методом контроля достоверности, используемым на j -й фазе информационного технологического процесса (при этом далее будем считать, что все обнаруженные ошибки исправляются); p_r – вероятность ошибки в команде на управление состоянием безопасности мореплавания на r -й фазе.

3. Принципы организации контрольных операций, повышающих достоверность выходной навигационной информации

В сложных навигационных условиях плавания не исключено, что какая-либо фаза информационного технологического процесса может быть охвачена несколькими операциями контроля, взаимно коррелирующими друг с другом, например, обнаруживающими одни и те же типы ошибок (Евланов, 1972). В этом случае $K_{обн}^*$ каждой следующей операции контроля должен рассчитываться с учетом коэффициента взаимосвязи $K_{вз}$ с предыдущими операциями контроля по формуле:

$$K^*_{\text{обн}, i} = K_{\text{обн}, i} \prod_{l=1}^{i-1} (1 - K_{\text{вз} il}) \prod_{s=1}^{l-1} (1 - K_{\text{вз} ls}),$$

где $s < l < i$ и $s, l, i \in I = \{1, 2, \dots, L\}$; I – множество всех операций контроля достоверности информации, используемых при несении штурманской вахты; множитель

$$\prod_{s=1}^{l-1} (1 - K_{\text{вз} ls})$$

учитывает возможную корреляцию предшествующих операций контроля между собой; коэффициент $K_{\text{вз}, il}$ ($K_{\text{вз} ls}$) определяется относительной величиной количества ошибок, не обнаруживаемых i -ой (l -ой) операцией контроля, среди ошибок, не обнаруживаемых l -ой (s -й) операцией контроля.

Определение величины $\langle \Omega \rangle$ является весьма трудоемким. Однако можно значительно упростить задачу построения оптимальной системы, состоящей из отдельных контрольных операций, если, например, перевести параметр достоверности выходной навигационной информации в выражении (1) из экстремального состояния в ограничительное отношение. Другими словами, переформулировать условие (1) следующим образом:

$$\begin{aligned} W &= W_p + W_k \rightarrow \min, \\ T &\leq T_{\text{доп}}, \quad P_1 \leq P_{\text{доп}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где W_p – приведенные затраты на функционирование системы преобразования навигационной информации без операций контроля, W_k – приведенные затраты на функционирование комплекса операций контроля, $P_{\text{доп}}$ – допустимое значение вероятности искажения слова в выходной команде капитана судна или замещающего его помощника на управление состоянием безопасности мореплавания и $T_{\text{доп}}$ – расчетное (допустимое) значение t в (1).

4. Определение оптимального комплекса контрольных операций, повышающих достоверность навигационной информации

Для решения задачи (2) можно использовать последовательный перебор вариантов объединения контрольных операций, привлекая в этом случае метод "ветвей и границ". В качестве "границ" могут использоваться допустимые величины $T_{\text{доп}}$ и $P_{\text{доп}}$, а также минимальное значение приведенной затраты W . Создание единой общности контрольных операций за достоверностью навигационной информации при несении штурманской вахты необходимо начинать с определения множества операций контроля $\Psi\{m, k_i\}$. Особенностью решаемой задачи является то, что одна из операций контроля в системе несения штурманской вахты должна быть фиктивной, имеющей нулевые значения стоимости, времени реализации и корректирующей способности (Евланов, 1972).

Допустимость применения операций контроля mk_i на j -й фазе информационного технологического процесса, идущего на ходовом мостике судна, опишем матрицей

$$tk_{ij} = \begin{cases} \Sigma\{tk_{ij}\}, i, j \in m, \\ 1, \text{ если } mk_i \text{ можно использовать на } j\text{-й фазе;} \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases} \quad (3)$$

Выбор операции контроля Y_j осуществляется с учетом предыстории, т.е. привлечения матрицы взаимосвязи операций контроля предыдущих и последующих фаз преобразования

$$kk_{il} = \begin{cases} \Lambda\{kk_{il}\}, l, i \in I, \\ 1, \text{ если } Y_j \text{ может использовать } mk_i, \text{ при условии, что } Y_r \\ \text{использует } mk_l, r, j \in m, r < j; \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases} \quad (4)$$

причем эта матрица формируется с учетом коэффициентов взаимосвязи между отдельными операциями контроля.

В дополнении к матрицам (3) и (4) следует так же задать матрицу

$$A^j = \{X^j_{qi}\}, q, j \in m, i \in I, \quad (5)$$

которая определяет возможное место введения избыточности в структуру штурманской вахты для проведения операций контроля, применяемых на j -й фазе преобразования навигационной информации

$$X^j_{qi} = \begin{cases} 1, \text{ если на } Y_j \text{ может использоваться } mk_i\text{-я операция контроля,} \\ \text{избыточность для которой введена на } q\text{-й фазе;} \\ 2, \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

Кроме того, для каждой j -й фазы необходимо задать множество $\langle K^j \rangle$ разрешенных к

применению операций контроля навигационной информации путем пересечения множества элементов j -й вектор-строки матрицы (3) с множеством элементов матрицы (4). Полученное множество в свою очередь может быть преобразовано в более мощное K^j , которое уже будет включать все возможные объединения контрольных операций и представлять многозначное отображение множества $\langle K^j \rangle$ в множество элементов матрицы (5)¹.

Процесс построения множеств K^j схематично можно изобразить в виде отдельных ветвящихся деревьев, корнями которых являются элементы множества K^1 . Графически задача выбора системы контрольных операций для информационного технологического процесса может быть интерпретирована как задача поиска ветви дерева длиной $(m - 1)$, параметры которой P и T удовлетворяют ограничениям, а значение W является минимально возможным. На первом этапе поиска задается некоторое заведомо большое значение W_0 и допустимые значения $P_{\text{доп}}$ и $T_{\text{доп}}$. Затем путем последовательного перебора фаз строится ветвь дерева, удовлетворяющая условиям

$$T \leq T_{\text{доп}}, \quad P_1 \leq P_{\text{доп}}, \quad W < W_0.$$

Для построения ветви дерева по рекуррентным соотношениям рассчитываются накопленные значения $\langle P \rangle$, $\langle T \rangle$ и $\langle W \rangle$. В качестве рекуррентных соотношений можно, например, использовать следующие выражения

$$\langle P_j \rangle = \langle P_{j-1} \rangle + p_j(1 - K_{\text{обн}j}) - K_{\text{обн}j} \sum_{r=1}^{j-q} p_{j-r} \prod_{h=1}^{j-r} (1 - K_{\text{обн}j-h}),$$

$$\langle T_j \rangle = \langle T_{j-1} \rangle + \tau_j + \delta_j \sum_{r=1}^{j-q} \tau_{j-r},$$

$$\langle W_j \rangle = \langle W_{j-1} \rangle + W_j + \delta_j \sum_{r=1}^{j-q} W_{j-r},$$

где $\langle P_{j-1} \rangle$, $\langle T_{j-1} \rangle$, $\langle W_{j-1} \rangle$ – накопленные значения P , T и W , рассчитанные для предыдущей $(j-1)$ -й фазы; p_j , τ_j , W_j – текущие значения P , T и W для j -й фазы; δ_j – коэффициент избыточности информации, необходимой для реализации Y_j .

$$\langle K_{\text{обн}j-h} \rangle = \begin{cases} K_{\text{обн}j-h}, & \text{если } k_{(j-h)s} = 1 \text{ и } j-r \geq s; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

На каждой j -й фазе просматриваются все разрешенные операции контроля навигационной информации и множество K^j , однако, если для какой-либо операции контроля или ее структуры условия по P , T или W не выполняются, соответствующая ветвь дерева, начиная с j -й фазы, и все примыкающие к ней разветвления на последующих s -х фазах ($s > j$), не просматриваются. Если построенная полная ветвь дерева длиной $j-1$ принимается за эталонную, то ее параметры запоминаются, а значение W , рассчитанное для этой ветви, принимается в качестве ограничения W_s для последующих вариантов расчетов.

5. Заключение

Составленная подвижная граница способна отсеять неоптимальные ветви дерева и осуществить объединение конкретных контрольных операций в единый процесс, который будет обеспечивать достоверность команде капитана или замещающего его вахтенного помощника.

Повышение достоверности навигационной информации в процессе управления состоянием мореплавания в свою очередь позволяет минимизировать количество команд из множества "опасного не системного менеджмента", выходящего за пределы принятой в компании корпоративной культуры управления.

Минимизация использования команд капитаном или замещающим его вахтенным помощником из множества "опасного не системного менеджмента" существенно снижает вероятность потери целостности штурманской вахты, причем как самой системой в целом, так и отдельных ее элементов.

Литература

- Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. *М., Наука*, 423 с., 1972.
 Еремин М.М., Меньшиков В.И., Пеньковская К.В. Оптимизация социотехнических связей в структурах мореплавания. *Под общ. ред. В.И. Меньшикова. Мурманск, МГТУ*, 166 с., 2011.