

УДК 629.5.067 : 656.611.052

Живучесть социо-технических систем, обеспечивающих управление состоянием безопасной эксплуатации судов

В.И. Меньшиков, К.В. Пеньковская, А.В. Солянин

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра судовождения

Аннотация. Предлагается к практическому использованию метод оценки живучести системы высокой сложности типа "Вахта", определенной Международной Конвенцией STCW 1978 г. и поправками 1995 г., по предложенному в работе критерию и в рамках различных состояний этой системы.

Abstract. The method of survivability estimation of the great complexity system of the "Watch" type has been proposed for practical use according to the given criteria and in the frameworks of the different variants of the system functioning state (the "Watch" system has been determined in the International Convention STCW of 1978 and the amendments of 1995).

1. Введение

Деятельность человека на море в начале двадцать первого столетия связана с развитием больших организационно-технических систем, обеспечивающих управление безопасностью эксплуатации судов и охраной морской среды. Такие системы должны синтезироваться в соответствии с текстом девятой главы Международной Конвенции "Солас-74" и Кодексом к ней. Обычно существующие системы управления безопасной эксплуатацией судов и охраной окружающей морской среды (далее СМБ) имеют развитые коммуникационные информационные и управляющие связи, насыщены средствами автоматизации, имеют сложную структуру ресурсообеспечения. Естественно, что по мере развития подобных систем в судоходных компаниях возрастает, и будет возрастать их чувствительность к различного рода внешним и внутренним воздействиям. Повышение чувствительности систем, в свою очередь, увеличивает их уязвимость и требует поиска путей обеспечения живучести (Стекольников, 2002).

Применительно к СМБ под термином "живучесть" ниже следует понимать состояние безопасной эксплуатации судов компании (состояние качества) и закономерности изменения этого состояния под воздействием отказов технических средств, ошибок судового и берегового персонала (человеческих элементов) с учетом свойств систем и их восстановительных возможностей. При таком подходе к исследованию живучести организационно-технических систем типа СМБ термины "безопасность" и "безопасная эксплуатация" понимаются не в широком, а лишь в узком смысле. Поэтому далее предлагается ограничить характеристику состояния безопасности только свойством ее работоспособности. Заявленный подход к оценке состояния живучести организационно-технических систем типа СМБ правомерен, поскольку позволяет концентрировать внимание только на тех аспектах, которые определяющим образом влияют на живучесть системы.

2. Общее описание системы "Вахта"

Одним из основных направлений, связанным с повышением уровня безопасной эксплуатации судов компании и снижением аварийности, является такое эффективное использование судовых специалистов и технических средств в процессе несения вахты, при котором обязательно должны учитываться особенности их коллективной деятельности. Локализованные взаимодействия общности морских специалистов (человеческий элемент) и технических средств, идущие в информационных и силовых связях, можно рассматривать как систему достаточно высокой сложности \mathcal{E} (система вахты), которая реально требует решения проблемы обеспечения ее живучести. Под живучестью такой системы будем понимать способность судовых специалистов при участии технических средств, объединенных в систему вахты, противостоять воздействиям внешней среды при помощи соответствующим образом организованной структуры и поведения.

Определим структуру системы \mathcal{E} в виде тройки (G, R, U) , где G – элементное множество системы, R – система правил, по которым должна функционировать система, U – процесс несения вахты (процесс функционирования), определенный на множестве G в рамках комплекса правил R . Тогда, в соответствии с общей теорией систем, процесс функционирования \mathcal{E} можно представить так:

$$G \xrightarrow{R(\cdot)} U. \quad (1)$$

Полное описание системы Ξ , в том числе и процесса несения вахты Φ , дано в тексте Международной Конвенции STCW и кодексах к ней. Так, в основном тексте конвенции описываются "человеческие" элементы множества G (правило VIII/2) и готовность этих элементов к выполнению своих обязанностей с определенной надежностью (правило VIII/1). Кроме того, правило VIII/2 предусматривает возможность декомпозиции системы Ξ на отдельные подсистемы. Такая декомпозиция позволяет конкретизировать системы правил, которые содержатся в кодексе к STCW в виде части А и части В, по которым должны формироваться безопасные процессы несения вахты (1). Поддержание состояния безопасной эксплуатации в системе осуществляется с помощью внутренней функции, которая реализуется системой Ξ в виде комплекса задач $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$, включающего, например, задачи идентификации, классификации, управления и т.д.

3. Определение состояния живучести системы "Вахта"

В общем случае состояние живучести сложной системы Ξ будет зависеть от множества параметров, характеризующих эту систему, задач, решаемых этой системой, внешней среды и, наконец, типа, степени и динамики их взаимодействия. Поэтому в рамках этого подхода к оценке состояния живучести системы Ξ такое состояние можно представить в виде функционала, заданного на некотором множестве параметров, влияющих на состояние живучести системы Ξ , т.е.

$$K_{\Xi} = f(\hat{S}, \check{S}, |S|, \Delta T, \theta, Q, W, V), \quad (2)$$

где \hat{S} – структура системы, \check{S} – поведение системы, $|S|$ – состояние способности системы, ΔT – временная избыточность, θ – тип управления, Q – вектор допустимого качества выполнения функций, W – множество состояний, в которые может перейти система под воздействием внешней среды; V – множество параметров, определяющих характер, степень, топологию и динамику воздействия внешней среды на систему "Вахта".

При оценке состояния живучести системы "Вахта", предназначенной для решения некоторого комплекса задач $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$, обеспечивающего безопасную эксплуатацию судна, большое значение имеет анализ состояния способности системы Ξ .

Под состоянием способности системы Ξ далее будем понимать ее способность обеспечивать решение любой φ_i -й задачи из комплекса $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$, если эта система находится в состоянии $\xi_j \in \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_g\}$, которое, в свою очередь, характеризуется как отказами технических средств, так и "неправильными действиями" человеческого элемента.

В общем случае достаточно полной характеристикой способности системы Ξ к решению комплекса задач $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$, направленного на обеспечение состояния безопасной эксплуатации судна, определенного на некотором множестве этих состояний, является матрица размером $n \times g$ со структурой, которая может быть записана так:

$$M(|S|) = \|m_{ij}(|S|)\|,$$

где

$$\|m_{ij}(|S|)\| = \begin{cases} 1, & \text{если в системе, находящейся в состоянии } \xi_j, \text{ существуют возможности} \\ & \text{решения } \varphi_i\text{-й с требуемым качеством;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Принципиально в системе Ξ существуют три вида состояния способности $|S| = \{|S|_t\}$, $t = 1, 3$, возникающие при реализации комплекса задач $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$. Эти состояния способности системы Ξ могут быть сформулированы в виде следующих положений:

- состояние способности $|S|_1$, при которой система обеспечивает обязательное решение всего комплекса задач $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ с заданным уровнем качества в произвольном состоянии $\xi_j \in \{\xi\}$;
- состояние способности $|S|_2$, при которой система обеспечивает обязательное решение лишь некоторого подмножества задач $\Phi_1 \subset \Phi$;
- состояние способности $|S|_3$, при которой система обеспечивает решение лишь одной задачи из всего комплекса Φ в произвольном состоянии $\xi_j \in \{\xi\}$.

Здесь необходимо отметить, что для сформулированных состояний способностей системы "Вахта", задачи, входящие в комплекс $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$, могут быть как независимыми, так и информационно-связанными, но в любом случае направлены на обеспечение безопасной эксплуатации судов компании.

Очевидно, что живучесть системы Ξ задана, если заданы матрица $M(|S|)$ и распределение вероятностей нахождения системы "Вахта" в произвольных состояниях $\xi_j \in \{\xi\}$. Если далее исходить из этого допущения, то для системы Ξ в качестве критерия оценки ее живучести вместо сложного выражения (2) можно использовать упрощенный критерий, записанный в матричной форме

$$K_{\Xi} = A \times M(|S|) \times H, \quad (3)$$

где $A = \|\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\|$ – вектор коэффициентов важности φ_i -й задачи, решаемой в системе "Вахта", а $H = \|h_1, h_2, \dots, h_g\|$ – вектор вероятностей состояний ξ_j .

Матрицу $M(|S|)$ в выражении (3) можно назвать матрицей осуществимости производственных, организационных и социальных задач системой Ξ на множестве состояний $\{\xi_j\}$.

При оценке состояния живучести системы "Вахта" по критерию (3) наибольшую сложность представляет формирование элементов матрицы осуществимости, каждый из которых есть некоторая булева функция, заданная на множестве параметров, влияющих на состояние живучести системы Ξ .

Перепишем выражение (3) следующим образом

$$K_{\Xi} = \sum_i \sum_j \lambda_i m_{ij}(|S|) h_j$$

при условии

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1, \quad \sum_{j=1}^g h_j = 1.$$

Коэффициент важности, характеризующей произвольную φ_i -ю задачу, отражает относительные потери, которые понесет система Ξ в случае ее невыполнения. Если задачи по безопасной эксплуатации судна в заданном комплексе $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ независимы, то λ_i можно определить следующим образом

$$\lambda_i = c_i / \sum_{i=1}^n c_i,$$

где c_i – потери, которые понесет система Ξ в случае невыполнения φ_i -й задачи.

Очевидно, что из всего множества состояний, в которых может находиться система Ξ , при оценке ее состояния живучести, должны рассматриваться лишь те состояния, в которых ухудшаются такие показатели качества функционирования системы, как время выполнения произвольной задачи и вероятность ее решения. Иными словами, в рассматриваемое множество состояний не должны включаться состояния, характеризующиеся "неправильными действиями" судового персонала, если в системе Ξ имеет место резервирование судовых специалистов. Например, вахта несетя помощником капитана при дублировании его действий капитаном. В таких случаях "неправильные действия" персонала автоматически заменяются "правильными действиями" зарезервированных судовых специалистов, что в принципе должно исключать в целом ухудшение функционирования системы Ξ .

4. Упрощенный метод формирования матрицы осуществимости

В качестве модели системы Ξ будем рассматривать ненаправленный вероятностный граф G , вершины которого соответствуют судовым специалистам и техническим средствам, задействованным в процессе несения вахты, а ребра – информационным каналам связи. Такой подход при формировании элементного множества системы Ξ можно использовать, если отказаться от соотношения "подчиненности" и использовать для этой цели только соотношение "партнерства" – α – между членами судового персонала A и B , включенных в Ξ .

Соотношение "партнерства" зафиксируем так

$$W \{A \alpha B, B \alpha A \rightarrow A \cong B \text{ для } \forall A, B\}$$

и будем его использовать при нумерации вершин графа.

Кроме того, будем считать, что судовые специалисты подготовлены к несению вахты так, как этого требует Международная Конвенция STCW 1978 г. с поправками 1995 г., и вместе с судовыми техническими средствами являются абсолютно надежными, и лишь в информационных каналах, связывающих вершины графа, возможны информационные отказы, происходящие с заданной вероятностью.

Расширим избыточность структуры системы Ξ , для чего примем, что любая задача φ_i по обеспечению безопасной эксплуатации из комплекса $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ может быть решена одним из множества способов $\{v_{im}\}$, причем $m = 1, 2, 3, \dots$.

Способы решения задачи могут отличаться друг от друга как числом или способом сочетания судового персонала и технических средств, участвующих в решении φ_i -й задачи, так и точностью, временем решения, объемом информации, который необходимо передать по каналам связи. Кроме того, в любом случае, способы решения произвольной φ_i -й задачи в системе Ξ будут отличаться между собой по предпочтительности использования. Предпочтительность же использования каждого v_m -го способа решения φ_i -й задачи в системе Ξ можно характеризовать с помощью весового коэффициента ω_{im} , позволяющего уже численно указать приоритет использования того или иного способа решения φ_i -й задачи.

Другими словами, введенная множественность способов решения задачи для $\forall \varphi_i \in \Phi$, порождая структурную избыточность системы Ξ , совместно с численно заданными приоритетами этих способов создает возможность выбора организационного поведения человеческого элемента системы "Вахты".

Далее положим, что φ_i -я задача из $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ будет решена в системе Ξ , находящейся в состоянии ζ_j , если удовлетворяются условия связанности совокупности судового персонала и технических средств, принимающих участие в решении этой задачи v_m -м способом. Оценку свойства связанности элементного множества G системы Ξ в состоянии ζ_j можно осуществить, если найти P_{mj}^i – вероятность связанности вершин графа G , соответствующих человеческому элементу и техническим средствам, принимающим участие в решении φ_i -й задачи v_m -м способом, и сравнить с заданной для каждой задачи допустимой вероятностью связанности P_{md} . На основе этого сравнения можно составить матрицу $L_m = \|l_{m\zeta}^i\|$ размерности $m \times n$, где

$$l_{m\zeta}^i = \begin{cases} 1, & \text{если при фиксированном состоянии системы для } \varphi_i\text{-й задачи, решаемой } v_m\text{-м} \\ & \text{способом, выполняется неравенство } P_{m\zeta}^i \geq P_{md}; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Множество матриц $\{L_m\}$ является исходным для формирования матрицы осуществимости $M(|S|)$, структура которой зависит от состояния способности системы Ξ .

Действительно, если каждая задача из комплекса $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ решается в системе Ξ только одним выбранным способом, то матрица осуществимости $M(|S|)$ может быть составлена из элементов, которые, используя состояния способности $|S|_1, |S|_2, |S|_3$ системы Ξ , определяются так

$$m_{m\zeta}(|S|_1) = \& l_{m\zeta}^i, \quad i=1, n$$

$$m_{m\zeta}(|S|_2) = \begin{cases} l_{m\zeta}^i, & \text{если } i \in \{i / \varphi_i \in \Phi / \Phi_1\} \\ \& l_{m\zeta}^i, & \text{если } \{i\} = \{i / \varphi_i \in \Phi_1\} \\ i \in (i) \end{cases}$$

$$m_{m\zeta}(|S|_3) = l_{m\zeta}^i,$$

где $l_{m\zeta}^i$ – элемент матрицы, взятый из строки, соответствующей выбранному способу решения φ_i -й задачи.

5. Оптимальный выбор способа решения задач по обеспечению безопасной эксплуатации

Для определения оптимального множества способов решения задач комплекса $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ по безопасной эксплуатации судна, которое, в свою очередь, максимизирует показатель K_Ξ системы Ξ , сформулируем правила конкретного выбора для каждого состояния способности $|S| = \{|S|_k\}, k = 1, 3$.

Для состояния способности $|S|_1$ системы Ξ оптимальным по живучести множеством способов решения задач из $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ будет такое множество, которое с учетом вероятностей состояний системы порождает такую матрицу осуществимости $M(|S|)$, в которой содержатся только единичные столбцы.

В рамках этого правила выбор оптимального множества способов решения задач из комплекса $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ реализуется как задача целочисленного программирования вида

$$\sum_{j=1}^g \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^m l_{m\zeta} \omega_{im} h_\zeta x_{mij} \rightarrow \max, \tag{4}$$

$$\sum_{m=1}^m x_{im\zeta} = 1, \quad \sum_{j=1}^g x_{imj} = g, \tag{5}$$

$$J = \{\zeta \mid \sum_{i=1}^n l_{m\zeta} = n\} \tag{6}$$

$$x_{jm\zeta} \in \{0, 1\}, \quad \zeta = 1, \dots, g; \quad m = 1, 2, 3, \dots, m; \quad i = 1, n,$$

где

$$x_{mij} = \begin{cases} 1, & \text{если задача } \varphi_i \text{ решается в } \zeta\text{-м состоянии } v_m \text{ способом,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Условия (5) означают, что каждая задача из $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ решается одним и тем же единственным способом для всего множества состояний системы, а суммирование в целевом функционале (4) производится по тем состояниям, для которых возможно решение всех n задач.

Для состояния способности $|S|_2$ выбор оптимального множества способов определяется решением (4-6) для подмножества задач Φ_1 , а оптимальные способы решения для $\varphi_i \in \Phi / \Phi_1$ следует искать так

$$\max_{\{w\}} \sum_{j=1}^g l_{mj}^i \lambda_{im} h_j \quad \text{при } \forall i = 1, n. \quad (7)$$

Для состояния способности $|S|_3$ оптимальным способом решения задачи будет такой способ, который с учетом вероятностей состояний системы порождает матрицу осуществимости $M(|S|)$, которая содержит максимальное число единиц в каждой отдельной строке, соответствующей осуществимости решения φ_i -й задачи в системе на множестве состояний $\{\xi\}$.

На основе этого принципа оптимальности задача нахождения оптимального множества способов решения задач может быть сведена к нахождению в каждой отдельной матрице L_m такой строки, которая дает максимальное значение суммы (7). Однако во всех случаях матрица осуществимости $M(|S|)$ формируется из строк матрицы L_m , соответствующих оптимально выбранным способам решения задач из комплекса $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$.

Кроме того, показатель живучести системы Ξ , определенный по формуле (3), будет иметь максимальное значение при обязательном условии – "человеческий элемент" системы, организуя свое поведение \tilde{S} , выберет именно оптимальные способы решения задач из комплекса $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$.

6. Информационная и процедурная связанность поведения человеческого элемента

Ниже приводятся логические принципы построения модели связанной деятельности (поведения) "человеческого элемента" в системе "Вахта" на основе выбранных оптимальных способов решения задач $\Phi_{on} = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$, обеспечивающих безопасную эксплуатацию судна, при условии максимума показателя живучести системы Ξ в (3).

Пусть выбранный комплекс задач $\Phi_{on} = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ представляет собой объединение независимых задач, которые необходимо информационно и процедурно связать в единое и неразрывное поведение человеческого элемента. Для этой цели сформулируем необходимые определения и рассмотрим формализацию модели поведения "человеческого элемента" системы Ξ .

Положим, что отдельной задаче φ_i , из оптимального комплекса задач $\Phi_{on} = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ поставлен в соответствие ориентированный граф вида

$$\Gamma_\varphi^i = (D_\varphi^i, A_\varphi^i), \quad (8)$$

вершинами которого являются множество входных X_k и выходных Y_t переменных задачи, $D_\varphi^i = \{X_k \cup Y_t\}$, а дугами – множество связанных с ними функций преобразования значений входных данных в выходные

$$A_\varphi^i = \{a_{kt}\}; \quad t = 1, T; \quad k = 1, K.$$

Кроме того, пусть связывающими звеньями отдельных задач в единый оптимальный комплекс задач $\Phi_{on} = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$, формирующий поведение "человеческого элемента", будет множество переменных задач φ_i , являющихся одновременно входными и выходными, удовлетворяющее соотношению

$$I_\varphi = \bigcup_{i=1}^n \{X_k \cap Y_t\}. \quad (9)$$

Определим внешние входы и выходы модели связанного поведения следующими соотношениями:

$$X_\varphi^0 = \bigcup X_i \setminus I_\varphi, \quad Y_\varphi^0 = \bigcup Y_i \setminus I_\varphi. \quad (10)$$

Схематизированное описание поведения "человеческого элемента" в системе Ξ для введенных определений (8) и (9) можно представить с помощью ориентированного графа

$$\Gamma_\Phi = (\{\Gamma_\varphi^i\}, I_\varphi), \quad (11)$$

где $\{\Gamma_\varphi^i\}$ – множество графов вида (8) с мощностью n (графовая траектория).

Информационная связанность оптимального комплекса $\Phi_0 = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ может быть обеспечена, если будет реализовано отображение вида

$$P_\alpha: \{\Gamma_\varphi^i\} \rightarrow (X_\varphi^0, Y_\varphi^0, I_\varphi) \rightarrow \Gamma_\Phi. \quad (12)$$

Из записанного отображения очевидно следует, что информационная связанность задач оптимального комплекса $\Phi_{on} = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ обеспечивается с помощью описаний входных и выходных данных (10), связывающего звена (9) и схематизированного описания деятельности "человеческого элемента" (11).

Задача информационной связанности задач из оптимального комплекса имеет естественное продолжение – задачу процедурной связанности оптимального комплекса Φ_{on} , которая заключается в процессе трансляции описаний схематизированной деятельности "человеческого элемента" в язык управляющей процедуры

$$P_{\beta}: \Gamma_{\Phi} \rightarrow \{Q_{\varphi}^i\}, \quad (13)$$

где Q_{φ}^i – множество терминальных цепочек языка, порождаемых некоторой грамматикой G_Q для каждой задачи $\varphi_i \in \Phi_0$.

Анализ выражений (12) и (13) показывает, что общая задача (12) должна быть отнесена к числу задач комбинаторного анализа. С целью сокращения числа полных переборов она решается с использованием логических методов комбинаторного анализа – метода включения-исключения. Задача процедурной увязки элементов оптимального комплекса Φ_{on} вида (13) может быть, в свою очередь, решена методом трансляции текстовых подстановок.

7. Согласование модели поведения "человеческого элемента"

Для рационального согласования требований к модели поведения "человеческого элемента" в системе Ξ между ее разработчиками и ее пользователями, находящимися на судне, необходимо последовательно реализовать следующие операции:

- выявить конкретные структуры данных каждой задачи комплекса Φ_{on} по заданным информационным потребностям и имеющемуся схематизированному описанию деятельности "человеческого элемента";
- активизировать требуемые функции в задачах комплекса Φ_{on} по сформированным конкретным структурам данных каждой задачи φ_i и имеющейся внутренней информации о связях между данными и процедурами в каждой задаче $\varphi_i \in \Phi_{on}$.

Рассмотрим процесс согласования, параллельно давая при этом все необходимые определения. Пусть описаниями информационных потребностей "человеческого элемента" на судне являются правильные подмножества описания внешних входных и выходных данных модели поведения

$$S(D_{\varphi}^0) \subseteq (D_{\varphi}^0 = \{X_{\varphi}^0 \cup Y_{\varphi}^0\}).$$

Кроме того, пусть описаниями структур данных каждой конкретной задачи комплекса Φ_{on} будут правильные подмножества описаний внутренних данных модели поведения "человеческого элемента" в системе Ξ

$$S(D_{\varphi}^i) \subseteq (D_{\varphi}^i = \{X_k \cup Y_{l_i}\}),$$

где эти описания, в свою очередь, являются множеством терминальных цепочек языка $S(D_{\varphi}^i)$ для каждой задачи $\varphi_i \in \Phi_{on}$, порождаемых некоторой грамматикой G_D .

Дополнительно примем, что правильные подмножества описаний функций для каждой задачи $\varphi_i \in \Phi_{on}$, задействованной в оптимальном комплексе поведения "человеческого элемента" Φ_0 , имеют вид

$$L(A_{\varphi}^i) \subseteq (A_{\varphi}^i = \{a_{kt}\}).$$

Тогда проблема информационного согласования модели поведения "человеческого элемента" сводится к нахождению отображения заданных информационных потребностей судового "человеческого элемента" в описание структур данных каждой задачи по уже имеющейся схематизации

$$T_{\alpha}: S(D_{\varphi}^0) \xrightarrow{\Gamma_{\varphi}} \{S(D_{\varphi}^i)\}.$$

Помимо информационного согласования модели поведения "человеческого элемента", может возникнуть проблема функционального согласования оптимального комплекса Φ_{on} . Решение этой проблемы заключается в том, что должна быть составлена процедура последовательного преобразования описаний структур данных каждой задачи $\varphi_i \in \Phi_{on}$ в описания программы поведения "человеческого элемента"

$$T_{\beta}: S(D_{\varphi}^i) \xrightarrow{R_{\varphi}} L(A_{\varphi}^i),$$

где R_{φ} – управляющее множество для трансляции.

Проблема информационного согласования оптимального комплекса Φ_{on} формализуется в рамках теории графов и относится к числу задач поиска допустимых маршрутов на ориентированном графе, а проблема функционального согласования оптимального комплекса Φ_{on} решается методами трансляции.

8. Пример оценки состояния живучести системы Ξ_0

Рассмотрим пример практического использования оценки живучести применительно к системе "Ходовая вахта". Для этой цели примем, что система "ходовая вахта" $\Xi_0 \subset \Xi$ поддерживает состояние безопасного плавания судна путем решения некоего комплекса задач, например, состоящего из трех типов задач $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3)$, причем каждая из задач комплекса может быть решена $v_{1j} = 3$, $v_{2j} = 4$, $v_{3j} = 3$ способами соответственно. Для обеспечения живучести в организационно-технической системе

"Ходовая вахта" необходимо выбрать оптимальные способы решения задач комплекса $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3)$ и найти оценки коэффициентов живучести K_{Σ} .

Пусть в системе Ξ_0 определены компоненты состояния способности $|S|$ при следующих исходных данных:

$$A = \|\|0.2; 0.5; 0.3\|\|; H = \|\|0.40; 0.30; 0.15; 0.10; 0.05\|\|.$$

Кроме того, в системе Ξ_0 заданы матрицы связности

$$L_1 = \begin{array}{c} \|\|1\ 0\ 0\ 1\ 1\|\| \\ \|\|1\ 1\ 0\ 1\ 1\|\|; \\ \|\|0\ 0\ 1\ 1\ 1\|\| \end{array}; \quad L_2 = \begin{array}{c} \|\|1\ 0\ 0\ 1\ 1\|\| \\ \|\|0\ 1\ 1\ 1\ 1\|\|; \\ \|\|1\ 0\ 0\ 1\ 1\|\| \\ \|\|0\ 1\ 0\ 1\ 1\|\| \end{array}; \quad L_3 = \begin{array}{c} \|\|1\ 1\ 1\ 0\ 1\|\| \\ \|\|1\ 0\ 1\ 1\ 1\|\|, \\ \|\|0\ 1\ 0\ 1\ 0\|\| \end{array}$$

и вектора весовых коэффициентов

$$\omega_{1j} = \|\|0.3; 0.4; 0.3\|\|; \omega_{2j} = \|\|0.2; 0.25; 0.25; 0.3\|\|; \omega_{3j} = \|\|0.35; 0.35; 0.3\|\|.$$

Тогда при заданных начальных данных конкретизируем компоненты состояния способности системы Ξ_0 . Так, далее будем считать, что $|S|_1$ – состояние обязательного решения всего комплекса задач, $|S|_2$ – состояние обязательного решения первой и второй задачи, $|S|_3$ – состояние, при котором решается хотя бы одна задача из всего комплекса.

Если далее использовать расчетные формулы, приведенные выше, то можно выбрать оптимальные способы решения задач, а из них составить оптимальный комплекс:

$$\Phi_{on} = (\varphi_{on}^1, \varphi_{on}^2, \varphi_{on}^3)$$

по обеспечению безопасной эксплуатации судна в системе Ξ_0 при условии $K_{\Sigma}(|S|) \rightarrow \max$.

Выполненные расчеты показывают, что для состояния способности $|S|_1$ задача φ_1 должна решаться первым способом, задача φ_2 – вторым, а задача φ_3 – первым способом. При этом поведение человеческого элемента в системе Ξ_0 должно строиться на основе оптимального комплекса задач заданного так:

$$\Phi_{on} = (\varphi_{on}^{11}, \varphi_{on}^{22}, \varphi_{on}^{31}), \text{ при } K_{\Sigma}(|S|_1)_{\max} = 0.55.$$

В том случае, когда состояние способности системы Ξ_0 определено, как $|S|_2$, задача φ_1 должна решаться первым способом, задача φ_2 – третьим способом, а задача φ_3 – первым способом. Однако при выборе оптимального комплекса следует учитывать физический смысл решаемых задач. Если принять во внимание особенности функционирования системы Ξ_0 , то поведение "человеческого элемента" должно строиться на основе оптимального комплекса

$$\Phi_{on} = (\varphi_{on}^{11}, \varphi_{on}^{23}), \text{ при } K_{\Sigma}(|S|_2)_{\max} = 0.65.$$

Для состояния способности $|S|_3$ оптимальный комплекс вырождается, и поведение "человеческого элемента" в системе Ξ_0 должно строиться на основе решения одной оптимальной задачи

$$\Phi_{on} = (\varphi_{on}^{12}); \text{ при } K_{\Sigma}(|S|_3)_{\max} = 0.74.$$

7. Заключение

Локализованное взаимодействие морских специалистов (человеческий элемент) и технических средств, идущее по информационным и силовым связям следует рассматривать как систему достаточно высокой сложности Ξ (система вахты), которая реально требует решения проблемы обеспечения ее живучести.

При оценке состояния живучести системы "Вахта", предназначенной только для решения комплекса задач $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$, обеспечивающих безопасную эксплуатацию судна, большое значение имеет анализ состояния способности системы Ξ .

Во всех конкретных состояниях осуществимости $|S| = \{|S|\}$ матрица $M(|S|)$, будет формироваться из строк матриц L_i , соответствующих выбранным способам решения задач, образующим оптимальный комплекс $\Phi_{on} = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$.

Человеческий элемент структуры Ξ , организова свое поведение при несении вахты, в рамках оптимального комплекса решения задач $\Phi_{on} = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ способен обеспечивать максимальную живучесть этой структуре.

Литература

Стекольников Ю.И. Живучесть систем. СПб., Политехника, 155 с., 2002.