

УДК 629.5.043 : [591.1 : 519.711.3]

## Эволюция состояний судовой ключевой операции в организационно-технической системе несения вахты

А.А. Анисимов, В.И. Меньшиков, В.Я. Сарлаев

Судоводительский факультет МА МГТУ, кафедра судовождения

**Аннотация.** Предложены математические модели критического и аварийного состояния судовой ключевой операции, возникающего в организационно-технической системе при несении вахты. Составлена обобщенная эволюционная математическая модель взаимосвязи этих состояний.

**Abstract.** The mathematical models of critical and emergency state of ship key operation occurring in organizational and technical system of watch have been proposed. The integrated evolutionary model of interaction of these states has been constructed.

### 1. Введение

Одной из задач при анализе аварий и аварийных случаев, выполняемом в рамках "Положения о порядке классификации, расследования и учета аварийных случаев с судами", является оценка правильности и эффективности реакции организационно-технической системы несения вахты на разрушительные воздействия реализующихся опасностей. При этом аварию или аварийный случай не следует рассматривать с позиции односторонности и одномоментности события, поскольку такой подход способен лишь обеднить картину развития судовой ключевой операции ситуации и не дать возможности выявлять действия и события причинно-следственного характера, которые в конечном итоге приводят к материальным и другим нежелательным последствиям. Следовательно, возникает необходимость в разработке эволюционных моделей движения состояний судовых ключевых операций, которые могут складываться в процессе функционирования организационно-технической системы эксплуатации судна при несении вахты (Меньшиков и др., 2006) и которые могут быть представлены в виде последовательных временных диаграмм (графов).

В качестве исходных гипотез, определяющих особенности построения эволюционных моделей движения состояния судовых ключевых операций, идущих в организационно-технической системе, будем использовать следующие предположения:

- опасные факторы, способствующие ошибкам человеческого элемента, отказам технических и сбоям организационных средств, а так же отказам средств диагностики, существуют постоянно, а их природа, характер и интенсивность воздействия могут варьироваться в зависимости от конкретных обстоятельств эксплуатации судна;
- нормальным состоянием судовой ключевой операции является эксплуатационное состояние, которое устойчиво к воздействию опасных факторов, уравниваемых адекватными реакциями организационно-технической системы в целом;
- выход судовой ключевой операции из нормального (эксплуатационного) состояния может быть обусловлен либо ошибкой человеческого элемента, отказом технической или организационной подсистемы, либо снижением защитных особенностей средств технической и организационной диагностики.

Используя введенные выше предположения и привлекая элементы теории математической логики, последовательно в рамках ассоциативно-структурного подхода составим эволюционные модели критического и аварийного состояния судовой ключевой операции, возникающие при функционировании организационно-технической системы несения вахты.

### 2. Эволюционная модель критического состояния судовой ключевой операции, идущей в организационно-технической системе несения вахты

Модель критического состояния судовой ключевой операции, складывающаяся в процессе функционирования организационно-технической системы несения вахты, будем формировать в виде последовательной эволюционной диаграммы, представленной направленным графом переходов со структурой дерева вида  $G_1(Q,U)$ , где  $Q$  – вершины, а  $U$  – ребра графа (рис. 1). При составлении математической модели в качестве исходных гипотез, определяющих особенности построения модели критического состояния судовой ключевой операции, используем предположения, сформулированные во введении. Поэтому, учитывая исходные предположения, за начальные вершины эволюционной

диаграммы (дерева)  $G_1(Q,U)$  будем принимать состояния нормального (эксплуатационного) функционирования подсистем, образующих организационно-техническую систему в целом. Так, состояние нормального функционирования подсистемы "человеческий элемент" соответствует вершине  $Q_1$ , подсистемы технических средств – вершине  $Q_3$ , а вершины направленного графа  $Q_5$ ,  $Q_6$  и  $Q_7$  отражают последовательность организационных мероприятий, создающихся в критическом состоянии судовой ключевой операции организационной подсистемой для компенсации опасных факторов. Так, состояние  $Q_5$  является профилактической формой преодоления критичности, состояние  $Q_6$  – таким, в котором принимаются чрезвычайные меры по борьбе с критичностью, а состояние  $Q_7$  отражает лишь предупредительные мероприятия, проводимые в организационно-технической системе несения вахты по отношению к состоянию судовой ключевой операции.

Ребра  $u \in U$  графа  $G_1(P,V)$ , представленные на рис. 1 в виде сплошных линий, фиксируют направленные переходы подсистем организационно-технической системы несения вахты из состояния в состояние. Поэтому управленческой ошибке человеческого элемента отвечает вершина  $Q_2$ , отказу технических средств – вершина  $Q_4$ . Конечные вершины направленного графа  $Q_8$  и  $Q_9$  являются критичными состояниями судовой ключевой операции, возникающими в организационно-технической системе несения вахты при использовании различных форм борьбы с опасными факторами.

Ребра  $u \in U$  графа  $G_1(P,V)$ , изображенные в виде пунктирных линий, показывают эволюционные пути движения состояния судовой ключевой операции при наличии ошибок человеческого элемента, отказов подсистемы технических средств и вариации организационных форм борьбы с критичностью состояния. Конечными вершинами эволюционной диаграммы рис. 1 являются вершины  $Q_8$  и  $Q_9$ , которые определяют такое состояние критичности, которое способно перейти или в эксплуатационное состояние, или в аварийное состояние судовой ключевой операции.

Пусть в случайные моменты времени в технических средствах происходят отказы, а человеческий элемент совершает ошибки в управлении состоянием безопасной эксплуатации судном. Если далее принять, что критическое состояние судовой ключевой операции, фиксируемое вершиной  $Q_8$  и характеризующее возможность перехода в эксплуатационное состояние, будет складываться лишь в случае привлечения чрезвычайных организационных мер, то эволюционную модель такого состояния можно представить так:

$$Q_8 = Q_8^0 \vee Q_8^1, \tag{1}$$

где каждая компонента (1) является монотонной цепочкой переходов

$$\begin{aligned} Q_8^0 &= Q_3 \ \& \ Q_4 \ \& \ Q_6; \\ Q_8^1 &= Q_1 \ \& \ Q_2 \ \& \ Q_6. \end{aligned}$$

Критическое состояние судовой ключевой операции в организационно-технической системе несения вахты, классифицируемое как состояние, стремящееся к аварийному состоянию (вершина направленного графа  $Q_9$ ), определяется наличием ошибок управления, отказами технических средств и неадекватностью привлечения профилактических или предупредительных мер. Модель подобного критического состояния судовой ключевой операции будет складываться в рамках организационно-технической системе несения вахты так:

$$Q_9 = Q_9^0 \vee Q_9^1 \vee Q_9^2, \tag{2}$$

где компоненты являются монотонными цепочками переходов

$$\begin{aligned} Q_9^0 &= Q_3 \ \& \ Q_4 \ \& \ Q_5; \\ Q_9^1 &= Q_1 \ \& \ Q_2 \ \& \ Q_5; \\ Q_9^2 &= Q_7. \end{aligned}$$

Таким образом, составленная модель критических состояний судовой ключевой операции (1-2) показывает, что такая модель не обладает устойчивым конечным состоянием. Причем вероятность перехода в устойчивые (эксплуатационное или аварийное) состояния зависит от отношения параметров эксплуатационных характеристик производственного процесса, идущего в организационно-технической системе, к параметрам опасных факторов действующих в этой же системе.

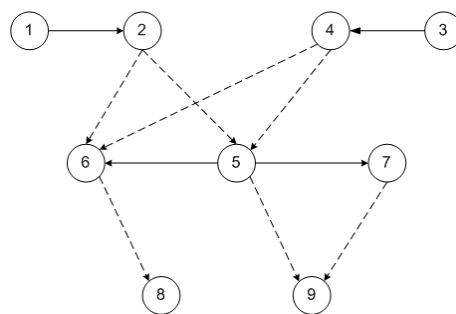


Рис. 1

### 3. Эволюционная модель аварийного состояния судовой ключевой операции, идущей в организационно-технической системе несения вахты

Модель аварийного состояния судовой ключевой операции представим с помощью направленного графа переходов с древовидной структурой вида  $G_2(P,V)$ , где  $P$  – вершины, а  $V$  – ребра

графа (рис. 2). Исходными вершинами эволюционной диаграммы (графа)  $G_2(P, V)$  являются состояния нормального функционирования подсистем, образующих организационно-техническую систему в целом. Так, состояние нормального функционирования подсистемы "человеческий элемент" соответствует вершине  $P_1$ , подсистемы технических средств – вершине  $P_3$ , подсистемы организационных средств – вершине  $P_5$ , а вершины направленного графа  $P_7$  и  $P_{10}$  отражают состояния нормального функционирования средств технической и организационной диагностики системы несения вахты.

Ребра  $v \in V$  графа  $G_2(P, V)$  представленные на рис. 2 в виде сплошных линий, фиксируют направленные переходы подсистем организационно-технической системы несения вахты из состояния в состояние. Так, управленческой ошибке человеческого элемента отвечает вершина  $P_2$ , отказу технических средств – вершина  $P_4$ , сбоем организационных средств – вершина  $P_6$ . Вершины направленного графа  $P_8, P_9, P_{11}, P_{12}$  соответствуют состояниям средств диагностики при фиксации ложных или скрытых отказов и сбоев в технической и организационной подсистеме соответственно. Действительно, с точки зрения последствий отказов судовых технических средств и сбоев в организации несения вахты при обеспечении безопасной эксплуатации судна, целесообразно рассматривать только скрытые и ложные. При этом под скрытыми техническими отказами и организационными сбоями следует понимать события, при которых ни средства технической диагностики, ни организационные контрольные мероприятия не парируют эти события. Ложными отказами и ложными сбоями будем считать самопроизвольно вырабатываемые сигналы об отказах и сбоях при нормальной работе подсистем организационно-технической системы.

Ребра  $v \in V$  направленного графа  $G_2(P, V)$  в виде пунктирных линий показывают эволюционные пути движения состояния судовой ключевой операции при наличии ошибок человеческого элемента, скрытых или ложных отказов и сбоев технических или организационных средств. Конечными вершинами эволюционной диаграммы рис. 2 являются вершины  $P_{13}$  и  $P_{14}$ , которые определяют конечные состояния аварийности судовой ключевой операции в рамках организационно-технической системы несения вахты.

Пусть в случайные моменты времени совершает ошибки человеческий элемент, а средства диагностики обнаруживают ложные или скрытые отказы и сбои в технической и организационной подсистеме. Тогда кажущееся аварийное состояние судовой ключевой операции для рассматриваемой организационно-технической системы, фиксируемое конечной вершиной графа  $P_{14}$ , будет складываться лишь в случае подачи сигнала о ложных отказах и сбоях, а также при парировании средствами технической или организационной диагностики скрытых отказов и сбоев. Модель состояния судовой ключевой операции с признаками кажущейся аварийности можно представить так:

$$P_{14} = P^0_{14} \vee P^1_{14} \vee P^2_{14} \vee P^3_{14} \vee P^4_{14} \vee P^5_{14}, \quad (3)$$

где компоненты являются монотонными цепочками переходов

$$\begin{aligned} P^0_{14} &= P_1 \ \& \ P_2 \ \& \ P_7; \\ P^1_{14} &= P_1 \ \& \ P_2 \ \& \ P_{10}; \\ P^2_{14} &= P_3 \ \& \ P_4 \ \& \ P_7; \\ P^3_{14} &= P_5 \ \& \ P_6 \ \& \ P_{10}; \\ P^4_{14} &= P_8; \\ P^5_{14} &= P_{11}. \end{aligned}$$

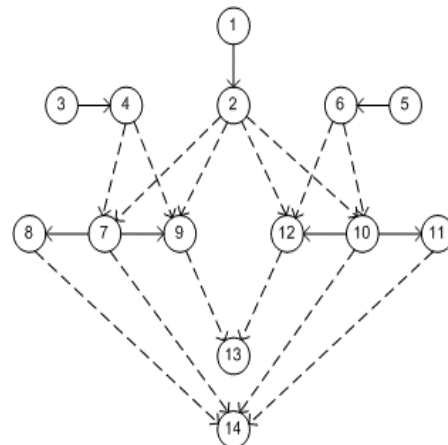


Рис. 2

Состояние судовой ключевой операции, классифицируемое как реально аварийное (вершина направленного графа  $P_{13}$ ), определяется ошибками "человеческого элемента", отказами или сбоями технической или организационной подсистемы, а также отказами средств диагностики. В этом случае модель реально аварийного состояния судовой ключевой операции, складывающегося в организационно-технической системе несения вахты, можно записать так:

$$P_{13} = P^0_{13} \vee P^1_{13} \vee P^2_{13} \vee P^3_{13}, \quad (4)$$

где каждая компонента (4) также является монотонной цепочкой переходов вида

$$\begin{aligned} P^0_{13} &= P_1 \ \& \ P_2 \ \& \ P_9; \\ P^1_{13} &= P_1 \ \& \ P_2 \ \& \ P_{12}; \\ P^2_{13} &= P_3 \ \& \ P_4 \ \& \ P_9; \\ P^3_{13} &= P_5 \ \& \ P_6 \ \& \ P_{12}. \end{aligned}$$

#### 4. Модель взаимосвязи эксплуатационного, критического и аварийного состояний для организационно-технической системы несения вахты

Введенные ранее допущения и описания моделей (1-4) позволяют сформулировать общие представления о трех основных состояниях любой судовой ключевой операции, идущей в организационно-технической системе несения вахты, и составить модель взаимосвязи этих состояний. Модель взаимосвязи эксплуатационного, критического и аварийного состояний судовой ключевой операции применительно к организационно-технической системе несения вахты целесообразно представить в виде направленного графа с циклической структурой вида  $G_3(S, W)$ , где  $S$  – вершины графа, а  $W$  – его ребра (рис. 3).

Основным устойчивым состоянием, отвечающим условиям безопасной эксплуатации судна, является эксплуатационное состояние, совпадающее с вершиной графа  $S_1$ . В этом состоянии действия факторов опасности незначительны и сбалансированы действиями организационно-технической системы на стадиях профилактики и предупреждения аварийности. Свойство устойчивости эксплуатационного состояния судовой ключевой операции, фиксированного вершиной графа  $S_1$ , иллюстрируется циклическим свойством (рис. 3).

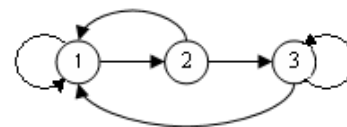


Рис. 3

Если при выполнении судовой ключевой операции действуют факторы опасности, создающие реальную угрозу безопасной эксплуатации судна, и такие действия не могут быть сбалансированы действиями организационно-технической системы на стадиях профилактики и предупреждения, то возникает неустойчивое критическое состояние, совпадающее с вершиной графа  $S_2$ . Это состояние неустойчиво, поскольку, с одной стороны, способно при принятии чрезвычайных организационно-технических мероприятий вернуться в устойчивое эксплуатационное состояние  $S_1$ , а с другой стороны, когда принятые меры не адекватны действиям факторов опасности, – превратиться в аварийное состояние, совпадающее с вершиной графа  $S_3$ .

Сутью аварийного состояния судовой ключевой операции является то, что для этого состояния характерно реальное или кажущееся нарушение функционирования организационно-технической системы или разрушение отдельных ее элементов. Естественно, что в случае кажущегося нарушения функционирования или кажущегося разрушения элементов организационно-технической системы возможно возвращение судовой ключевой операции в эксплуатационное состояние.

При истинном разрушении элементов или истинном нарушении режима функционирования организационно-технической системы аварийное состояние судовой ключевой операции уже необратимо. Свойство необратимости и устойчивости истинного аварийного состояния судовой ключевой операции в эволюционной модели взаимосвязи (рис. 3) закреплено циклом при вершине графа  $S_3$ . В истинном аварийном состоянии судовой ключевой операции организационно-техническая система обязана реагировать на разрушительные действия опасных факторов, но лишь в плане локализации, а в последующем – минимизации последствий от этих действий.

#### 5. Заключение

Эволюционные модели состояний судовой ключевой операции, составленные в рамках ассоциативно-структурного подхода (1-4), и модель их взаимосвязи (рис. 3) способны обеспечить как оценку надежности эксплуатации судна, так и прогнозирование эффективности вложения средств на поддержание системы управления безопасной эксплуатацией этого судна. Кроме того, использование предложенных эволюционных диаграмм может дать толчок к выработке более эффективных мер по профилактике аварийности и минимизации последствий от аварий и экологических катастроф.

#### Литература

Меньшиков В.И., Пасечников М.А., Меньшикова К.В., Гладышевский М.А. Организованность социо-технической системы, обеспечивающей поддержание заданного уровня состояния безопасной эксплуатации судна. *Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета*, т.9, № 2, с.268-281, 2006.